

09.08.91



FOLIA FORESTALIA

768

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1991

Anna Saarsalmi, Kristina Palmgren & Teuvo Levula

HARMAALEPÄN VESOJEN BIOMASSAN TUOTOS JA
RAVINTEIDEN KÄYTTÖ

Biomass production and nutrient consumption of the
sprouts of *Alnus incana*

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 857 051
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 768

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1991

Anna Saarsalmi, Kristina Palmgren & Teuvo Levula

HARMAALEPÄN VESOJEN BIOMASSAN TUOTOS JA RAVINTEIDEN
KÄYTTÖBiomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*

Approved on 11.1.1991

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
21. Kokeen perustaminen	4
22. Näytteenotto, määritykset ja aineiston käsittely	5
3. TULOKSET	7
31. Kasvatusolosuhteet	7
32. Harmaalepän vesojen kehitys ja biomassan määrä	10
33. Harmaalepän vesojen ravinteiden käyttö	12
4. TULOSTEN TARKASTELUA	13
5. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	16
KIRJALLISUUS — REFERENCES	16
SUMMARY	18
LIITTEET — APPENDICES	19

Saarsalmi, A., Palmgren, K. & Levula, T. 1991. Harmaalepän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*. Folia Forestalia 768. 25 p.

Tutkimuksessa verrataan runkokuun ja kokokuun korjuun vaikutusta harmaalepän vesomiseen sekä selvitetään lannoituksen vaikutusta vesasyntyisen puusukupolven biomassan tuotokseen ja ravinteiden käyttöön. Lisäksi verrataan vesasyntyisen vesakon ja pääasiassa siemensyntyisen vertailupuuston biomassan tuotosta ja ravinteiden käyttöä.

Koetta perustettaessa kaadettiin 17-vuotias käenkaalimustikka-tyypin harmaalepikko ja samalla hakkuualueen ympärille rajattiin alue kasvatettavaksi jätetyn lepikon jatkokehityksen selvittämiseksi (nk. vertailupuusto). Kokeen käsittelyt olivat: 1. runkokuun korjuu ($d \geq 5$ cm), 2. kokokuun korjuu, 3. kokokuun korjuu ja lannoitus: puuntuhkaa (ensimmäisen kasvukauden alussa) ja hiven PK:ta (kuudennen kasvukauden alussa), 4. kokokuun korjuu ja lannoitus: puuntuhkaa ja superfosfaattia (ensimmäisen kasvukauden alussa) ja hiven PK:ta (kuudennen ja seitsemännen kasvukauden alussa).

Harmaalepikon vesomiskyky oli hyvä. Vesojen biomassan määrä oli sekä viiden että kahdeksan kasvukauden jälkeen suurempi runkokuun korjuun koealoilla kuin lannoittamattomilla kokokuun korjuun koealoilla. Lannoitus lisäsi vesojen biomassan määrää. Kokokuun korjuun koealoilla vesasyntyinen puusukupolvi tuotti kahdeksassa vuodessa runko- ja oksabiomassaa ilman lannoitusta 14 t/ha ja lannoitemäärästä riippuen 27–32 t/ha, eli keskimäärin puolet siitä, mitä vertailupuusto 25 vuodessa. Ilmeisesti fosforilla oli keskeinen merkitys kasvunlisäyksessä. Lepän juurten biomassa oli tutkimusjakson lopussa 0–40 cm maakerroksessa vesasyntyisessä puustossa 12 t/ha ja vertailupuustossa 10 t/ha. Tuotettua biomassatonna kohti vesasyntyinen harmaalepikko käytti ravinteita keskimäärin seuraavasti: N 13,9, P 1,2, K 6,0, Ca 4,2, Mg 0,8 kg sekä Mn 282, Fe 79, Cu 6, Zn 20 ja B 17 g.

The effect of harvesting, both stemwood and whole-tree, on the sprouting of *Alnus incana* and the effect of fertilization on the biomass production and nutrient consumption of the sprouts are examined in this study. In addition, the biomass production and nutrient consumption of a coppiced and uncoppiced reference stand are also compared. Part of a 17-year-old *A. incana* stand growing on a site of the *Oxalis-Myrtillus* type was cut. The rest of the stand, surrounding the cut area, was retained in order to follow the future development of an uncoppiced stand (reference stand). The treatments were: 1. stemwood harvesting ($d \geq 5$ cm), 2. whole-tree harvesting, 3. whole-tree harvesting and fertilization (wood ash at the beginning of the 1st growing season and PK with micronutrients at the beginning of the 6th growing season), 4. whole-tree harvesting and fertilization (wood ash and superphosphate at the beginning of the 1st growing season and PK with micronutrients at the beginning of the 6th and 7th growing seasons).

The sprouting capacity of the alders was good. The amount of sprout biomass obtained after stemwood harvesting was greater than that after whole-tree harvesting without fertilization after both the 5th and 8th growing seasons. Fertilization increased the amount of sprout biomass. The sprouts on the whole-tree harvested plots produced 14 t/ha of stem and branchwood in eight years without fertilization, and 27–32 t/ha depending on the fertilization regime, i.e. half that on the average which the reference stand produced in 25 years. Phosphorus obviously played an important role in this growth increase. The biomass of the alder roots at the end of the study period was 12 t/ha in the 0–40 cm-thick soil layer in the coppiced stand, and 10 t/ha in the reference stand. On the average, the coppiced alder stand consumed the following amounts of nutrients to produce one tonne of biomass: N 13.9, P 1.2, K 6.0, Ca 4.2, Mg 0.8 kg and Mn 282, Fe 79, Cu 6, Zn 20 and B 17 g.

Keywords: *Alnus incana*, biomass, nutrients, coppicing, whole-tree harvesting.
ODC 176.1 *Alnus incana* + 231.5 + 33

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Soil Science, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-1143-0

ISSN 0015-5543

Helsinki 1991. Valtion painatuskeskus

1. Johdanto

Vesakoita ovat joko siemenistä tai vesoista luontaisesti syntyneet pienikokoisten lehtipuiden muodostamat tiheät puustot, joista ei juuri saada kaupalliset mitat täyttävää ainespuuta. Yksinomaan siemenestä syntyneitä tai puhtaasti vesa-syntyisiä lepikoita tavataan harvoin. Pienikokoinen lehtipuusto on metsätaloudessa usein nähty markkinakelvottomana ja metsänhoidollisia ongelmia aiheuttavana. Toisaalta 1970-luvulla alettiin korostaa perinteistä metsätaloutta voimaperäisempiä menetelmiä biomassan tuotannossa ja korjuussa kotimaisen energiatuotannon edistämiseksi. Ajatuksena oli, että tulevaisuudessa olisi mahdollista käyttää pienikokoista puuta myös teollisuuden tarpeisiin (Energiamet-sätoimikunnan mietintö I 1979 ja II 1980).

Vesametsäkasvatuksessa uudistaminen tapahtuu kasvullisesti pääasiassa kantovesojen avulla (Mikola 1942). Puiden vesomiskyky on parhaimmillaan voimakkaimman kasvun aikana eli vesa-syntyisessä puustossa 15–20 vuoden iässä, siemensyntyisessä puustossa hieman myöhemmin (Mikola 1942).

Kantoon voi kehittyä runsaasti vesoja, joista suuri osa kuitenkin kuolee ensimmäisinä vuosina. Tähän on useita syitä. Vesojen yhteys emopuun juuristoon heikkenee vähitellen, vesojen keskinäinen kilpailu elintilasta on suuri ja ne ovat alttiita erilaisille tuholaisille ja tuhoille. Edelleen emopuun kannon mahdollinen laho voi levitä helposti vesoihin (Ferm ym. 1985). Fenolien purkautuminen solunesteonteloihin on esitetty myös erääksi syyksi vesojen kuolemaan (Blake 1981). Vesa-syntyiset puut vesovat helpommin kuin siemensyntyiset puut (Kauppi ym. 1987). Puulajin, puun iän ja hakkuutavan lisäksi vesomiseen saattavat vaikuttaa mm. kasvu-

paikka, kaatoajankohta, kannon korkeus, kannon läpimitta ja säätekijät (Ferm ym. 1985).

Vesojen kasvu on ensimmäisinä vuosina nopeampaa kuin siemensyntyisten puiden johtuen vesojen kiinteästä yhteydestä emopuuhun (Mikola 1942, Rybtsov 1969, Kramer & Kozlowski 1979, Kauppi ym. 1988). Tämä ero kuitenkin pienenee vesojen ja emopuuston välisen juurisyhteyden heikkenemisen sekä vesojen keskinäisen kilpailun vuoksi (Mikola 1942, Kauppi ym. 1988). Rybtsovin (1969) mukaan vesa-syntyiset harmaalepät olivat 10-vuotiaina neljänneksen pidempiä kuin siemensyntyiset harmaalepät ja ero tasoittui vasta 30 vuoden iällä.

Ravinnetarpeen tunteminen on tärkeä osa nopeakasvuisten lehtipuiden kasvatusta. Jos puusto korjataan kokopuuna, kasvupaikalta poistuu runsaasti ravinteita, jotka on korvattava viljavuuden ylläpitämiseksi. Puiden ravinteiden käyttöön vaikuttaa maan ravinteisuustason lisäksi metsikön kehitysvaihe. Mitä nuorempana puusto korjataan sitä suurempi on ravinteiden menetys biomassayksikköä kohti. Johtuen puun sisäisestä ravinnekierrosta ja lehtien osittaisesta varisemisesta kesäaikaisessa korjuussa, korjuu-ajankohdalla ei ole vanhassa puustossa olennaista vaikutusta kasvupaikalta poistuviin ravinnemääriin (Mälkönen & Saarsalmi 1982, Saarsalmi & Mälkönen 1989). Nuoret nopeakasvuiset vesat näyttävät sen sijaan siirtävän syksyllä ravinteita lehdistä muihin puun osiin suhteellisesti vähemmän kuin vanhemmat puut (Ferm & Markkola 1985), jolloin korjuuajankohdan merkitys korostuu.

Suomalaiset vesametsätutkimukset ovat keskittyneet lähinnä Keski- ja Pohjois-Suomeen, jossa on runsaasti turvemaita ja muita poltto-

Symbolit — Symbols

h = Puun pituus
Tree height

d = Rinnankorkeusläpimitta
Breast height diameter

n = Koepuiden lukumäärä
Number of sample trees

$s_{\bar{x}}$ = Keskiarvon keskivirhe
Standard error of the mean

r^2 = Selitysaste
Degree of determination

CV = Variaatiokerroin, %
Coefficient of variation

Tilastolliset testit — Statistical tests

* = 5 % riskitaso — risk level

** = 1 % “ “

*** = 0,1 % “ “

puun kasvatukseen sopivia kasvupaikkoja (Ferm ym. 1985). Edellä mainittuja kasvupaikkoja ajatellen on luonnollista, että tutkimuksen päähuomio on kohdistunut hieskoivuun. Myös harmaaleppä uudistuu helposti vesosta. Harmaalepällä tavataan sekä kanto- että juurivesoja (Heikinheimo 1917, Turunen 1953). Harmaaleppä on nuorena nopekasvuinen (Miettinen 1932, Kalela 1937, Simola 1977, Issakainen 1980, Björklund & Ferm 1982); sen biomassatuotos on nuorella iällä suurempi kuin esimerkiksi hieskoivun (Miettinen 1932, Issakainen 1980).

Leppä on puulajeistamme ainoa, joka pystyy sitomaan ilmakehän vapaata typpeä. Kirjallisuuden mukaan leppä sitomaan typen määrä vaihtelee kasvuolosuhteista riippuen. Norjalaisessa tutkimuksessa harmaalepikon on todettu sitoneen typpeä runsaat 40 kg/ha/v (Johnsrud 1978). Kenttäolosuhteissa typpilannoitus ei ole lisännyt leppä kasvua (Sørensen 1936, Saarsalmi ym. 1985).

Fosforin merkitystä typensidonnassa on korostettu useissa yhteyksissä (Sprent 1979). Kenttäkokeissa fosfori on ollut toistaiseksi ainoa ravinne, joka on positiivisesti vaikuttanut leppä kasvuun (McVean 1956, Themlitz & Behrens 1957, Junack 1961, Mayer-Knapoll 1969). Toisaalta on tutkimuksia, joissa fosfori ei ole lisännyt leppä kasvua (Sørensen 1936, Chapin ym. 1983, Saarsalmi ym. 1985). Edelleen Ingstad (1981) on vesiviljelykokein kasvihuoneolosuh-

teissa todennut harmaaleppä olevan fosforin suhteen vaateliaampi kuin rauduskoivu. Hivenaineista on molybdeenin todettu olevan merkityksellinen typensidonnassa (Becking 1961).

Harmaaleppä (*Alnus incana* (L.) Moench) on Suomen olosuhteissa hieskoivun ohella varteentottava puulaji ajateltaessa polttopuun kasvatusta luontaisesti syntyneissä vesakoissa. Tässä tutkimuksessa verrataan runkopuun korjuun ja kokopuun korjuun vaikutusta harmaaleppä vesonemiseen sekä selvitetään lannoituksen vaikutusta vesasyntyisen puusukupolven biomassan tuotokseen ja ravinteiden käyttöön. Lisäksi verrataan vesasyntyisen vesakon ja pääasiassa siemensyntyisen vertailupuuston biomassan tuotosta ja ravinteiden käyttöä.

Tutkimuksen suunnittelusta ovat vastanneet professori Eino Mälkönen, Anna Saarsalmi, Kristina Palmgren ja Teuvo Levula. Käsikirjoituksen on laatinut Saarsalmi. Tulosten laskennasta on vastannut Saarsalmi yhdessä Levulan kanssa, joka on myös vastannut tutkimukseen liittyvistä kenttätöistä. Palmgren on huolehtinut maan biologisten ominaisuuksien selvittämiseen liittyvistä kenttätöistä. Tutkimusvirkailija Sari Elomaa on piirtänyt kuvat, Kerttu Lehtinen on huolehtinut juuriston biomassan määrittämisestä ja MML John Derome on kääntänyt tekstin englanninkielisen osan. Professorit Eino Mälkönen ja Seppo Kellomäki sekä MMT Ari Ferm ovat lukeneet käsikirjoituksen tehden hyviä ehdotuksia työn viimeistelemiseksi. Kiitämme kaikkia tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneita henkilöitä sekä maanviljelijä Antti Pärssistä tutkimusalueen luovuttamisesta käyttööme.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Kokeen perustaminen

Tutkimusta varten perustettiin marraskuussa 1979 Vierumäelle (N 61°50', E 25°52') kenttäkoe, jossa käytettiin koejärjestelyinä satunnaistettuja lohkoja. Kokeen käsitteilyt olivat:

1. Runkopuun korjuu ($d \geq 5$ cm)
2. Kokopuun korjuu
3. Kokopuun korjuu ja lannoitus:
v. 1980 puuntuhka 3000 kg/ha (liite 1)
v. 1985 hiven PK 700 kg/ha (liite 1)
4. Kokopuun korjuu ja lannoitus:
v. 1980 puuntuhka 3000 kg/ha
superfosfaatti 290 kg/ha (liite 1)
v. 1985 hiven PK 700 kg/ha
v. 1986 “

Kukin käsittely toistui kokeessa kolme kertaa.

Koetta perustettaessa kaadettiin 17-vuotias harmaaleppikko ja samalla hakkuualan ympärille rajattiin kolme

puustokoealaa kasvatettavaksi jätetyn leppikon jatkokehityksen selvittämiseksi (nk. vertailupuusto). Vesasyntyisen puuston biomassatuotosta voidaan verrata näiden vertailupuustoa edustavien koealojen biomassatuotokseen. Vertailupuusto harvennettiin tutkimusjakson alussa, jolloin puuston runkotilavuudeksi jätettiin keskimäärin 50 m³/ha. Koealojen koko oli vesasyntyisessä puustossa 25 × 25 m ja vertailupuustossa 30 × 30 m.

Kasvupaikkatyypiltään koemetsikkö (taulukko 1) oli lehtomaista kangasta. Alue oli aiemmin ollut kuusen ja koivun muodostamana sekametsikkönä ja metsittynyt 1960-luvun alussa avohakkuun ja raivauksen jälkeen harmaalepällä. Vallitsevana maalajitteena 0–30 cm maakerroksessa oli karka hietä, jonka osuus oli keskimäärin 55 %. Hienon hiedan osuus mainitussa kerroksessa oli 15 %, hiesun 9 % ja saveksen 5 %. Humuskerrosta ei voitu erottaa. Maan tiheys oli eri maakerroksissa keskimäärin 1,1 (0–10 cm), 1,2 (10–20 cm) ja 1,4 g/cm³ (20–30 cm). Kasvualustan typen määrä oli tutkimusjakson alussa korkea, helppoliukoisen fosforin määrä puolestaan suhteellisen alhainen (taulukko 2).

Taulukko 1. Koemetsikön puustotunnuksia koetta perustettaessa.

Table 1. Tree stand characteristics at the beginning of the study.

Puustotunnus Tree stand characteristic	\bar{x}	s_x
Runkoluku, kpl/ha Stem number per ha	17168	1318
Keskiläpimitta, cm Mean stem diameter	6,2	0,2
Keskipituus, m Mean height	8,6	0,3
Pohjapinta-ala, m ² /ha Basal area	28,23	0,84
Runkotilavuus kuorineen, m ³ /ha Stem volume (overbark)	127,13	6,69
Vuotuinen tilavuuskasvu kuorineen, m ³ /ha Current annual increment (overbark)	10,93	1,69

22. Näytteenotto, määritykset ja aineiston käsittely

Maanäytteet otettiin syksyllä. Koetta perustettaessa ja viiden kasvukauden jälkeen otettiin kultakin koetalta neljästä osanäytteestä koostuva kokoomanäyte 0–10, 10–20 ja 20–30 cm maakerroksesta. Kahdeksan kasvukauden jälkeen otettiin näytteenottimella (ø 72 mm) 0–10 cm maakerroksesta kahdeksan ja 10–40 cm maakerroksesta neljä osanäytettä koaloittain. Näytteet eroteltiin 0–5, 5–10 ja tämän jälkeen 10 cm kerroksiin. Saman koalan näytteet yhdistettiin kerroksittain. Maanäytteistä määritettiin pH_{vesi} kokonaistyyppi, helppoliukoinen fosfori sekä vaihtuva kalium, kalsium ja magnesium sekä viiden ja kahdeksan kasvukauden jälkeen lisäksi happamaan ammoniumasetaattiin liukoinen mangaani, sinkki ja rauta sekä kahdeksantena vuonna lisäksi orgaanisen hiilen pitoisuus Metsäntutkimuslaitoksella käytössä olevin menetelmin (Halonen ym. 1983).

Keväällä 1981 kokeelle perustettiin orgaanisen aineen hajoituskoee. Testisubstraattina käytettiin kokeelta kerätyjä karikkeita (lepän lehtiä, oksia, kuorta ja ruohoa) ja selluloosaa (94 % α-selluloosaa, 6 % β + γ-selluloosaa). Huoneenlämmössä kuivattuja karikkeita punnittiin keskimäärin 10 g 15 × 15 cm suuruisiin nylonverkkopusseihin ja 3 × 10 cm suuruisiin nylonverkkopusseihin pujotettiin 2–4 selluloosaliuskaa. Kullekin koetalalle asetettiin 6–7 karikepusia ja 5–6 selluloosapussia. Karikepusit peitettiin kevyesti karikkeilla. Selluloosapussit työnnettiin viistoon karike- ja humuskerroksen väliin. Orgaanisen aineen hajoamisen edistymistä seurattiin 5, 12 ja 24 kuukauden ajan. Kunakin ajankohtana kerättiin kolmannes

Taulukko 2. Kokonaistypen, helppoliukaisen fosforin sekä vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät (kg/ha) sekä pH_{vesi} eri maakerroksissa tutkimusjakson alussa.

Table 2. Amount of total nitrogen, easily soluble phosphorus and exchangeable potassium, calcium and magnesium (kg/ha) and pH_{water} in different soil layers at the beginning of the study.

Ravinne Nutrient	Maakerros — Soil layer, cm					
	0–10	10–20		20–30		
	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x
N	3338	124	1929	107	1252	127
P	3,9	0,2	2,3	0,2	1,6	0,1
K	69	5	33	3	25	2
Ca	305	32	216	31	182	24
Mg	34	4	20	3	16	2
pH	4,2	0,1	4,7	0,1	4,7	0,2

selluloosa- ja karikepusseista ja määritettiin niiden massan väheneminen.

Kokopuuna korjattujen koalojen puusto haketettiin, määritettiin hakkeen kuivamassa sekä hakkeen sisältämien pääravinteiden määrä.

Vesojen pituuden kehitystä seurattiin vuosittain. Tällöin rajattiin kullekin koetalalle systemaattisesti viisi 10 m² suuruista, ympyränmuotoista osakoealaa. Lukuunottamatta niitä vuosia, jolloin puuston biomassaa määritettiin, mitattiin osakoealoittain kaikkien vesojen pituus. Vesojen lukumäärä määritettiin vuosittain.

Vesasyntyisten leppien biomassaa määritettiin viiden ja kahdeksan kasvukauden jälkeen elokuun lopussa, vertailupuuston biomassaa kahdeksan kasvukauden jälkeen syyskuun puolivälissä. Samassa yhteydessä otettiin kasvinäytteet ravinnemäärityksiä varten. Samoilla osakoealoilla, joilla seurattiin vesojen pituuden kehitystä, mitattiin tuolloin kaikkien vesojen rinnankorkeusläpimitta ja joka viidennen vesan pituus sekä lisäksi kunkin osakoealan viiden paksuimman vesan pituus. Tämän jälkeen puusto jaettiin kolmeen pituusluokkaan. Koaloittain otettiin 15 koepuuta siten, että kultakin osakoealalta otettiin pohjoisesta alkaen myötäpäivään koepuu kustakin pituusluokasta. Jos osakoealalta ei löytynyt johonkin pituusluokkaan kuuluvaa puuta, otettiin viereisestä kokoluokasta kaksi puuta. Koepuusta mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja pituus. Koepuusta eroteltiin runko, oksat sekä lehdet ja punnittiin niiden tuoremassa. Kustakin puunosasta otettiin näyte (10–100 % tuoremassasta) siten, että lehti- ja oksanäyte edusti latvuston, runkonäyte rungon tyvi-, keski- ja latvaosaa. Näytteiden kuiva-aine ja ravinnepitoisuudet määritettiin.

Vesasyntyisessä metsikössä määritettiin kokeen lopussa koaloittain neljän kannon kuivamassa. Kantovesojen rinnankorkeusläpimitta ja pituus mitattiin. Tämän jälkeen kannot nostettiin maasta siten, että yli 2 cm paksuiset

Taulukko 3. Koepuiden tunnuksia.
Table 3. Sample tree parameters.

	\bar{x}	s_x	1984 Min	Max	Vuosi — Year		s_x	1987 Min	Max
					\bar{x}				
Vesasyntyinen puusto									
<i>Coppiced stand</i>									
Keskiläpimitta, mm	17	1	2	37	27	1	8	63	
<i>Mean stem diameter</i>									
Keskipituus, m	3,2	0,6	1,4	5,3	4,9	0,1	2,4	8,1	
<i>Mean height</i>									
Kuiva-aine, g									
<i>Dry matter</i>									
Runko	317	20	25	1242	871	63	12	4308	
<i>Stem</i>									
Oksat	83	7	1	543	141	13	2	1056	
<i>Branches</i>									
Lehdet	50	4	1	255	108	9	2	704	
<i>Leaves</i>									
Vertailupuusto									
<i>Reference stand</i>									
Keskiläpimitta, mm					104	3	59	162	
<i>Mean stem diameter</i>									
Keskipituus, m					11,9	0,2	9,9	14,0	
<i>Mean height</i>									

juuret tulivat mukaan. Kannot huuhdeltiin vedellä, punnittiin ja niistä otettiin näyte kuiva-aine- ja ravinnemäärityksiä varten.

Vertailupuusto jaettiin läpimittajakauman perusteella kolmeen osaan ja kustakin kokoluokasta otettiin viisi koepuuta. Koepuut kaadettiin ja niistä mitattiin läpimitta 1,3 ja 6 m korkeudelta sekä pituus. Kunkin koepuun elävä latvus jaettiin kolmeen yhtä pitkään osaan, joista kustakin otettiin keskimäinen oksa lehtineen näytteeksi. Latvuksen kolmasosa toiseen siirryttäessä vaihdettiin näytteenotto puolta n. 100°:lla. Loput oksat karsittiin ja punnittiin lehtineen.

Näyteoksista eroteltiin lehdet ja oksat ja niiden kuiva-aine- ja ravinnepitoisuudet määritettiin. Koepuiden rungosta otettiin n. 10 cm mittainen näytekiekko, puun pituuden kolmasosan korkeudelta. Näytekiekosta mitattiin pituus, läpimitta kuoren alta ja päältä sekä määritettiin runkopuun ja kuoren tuore- ja kuivamassa sekä ravinnepitoisuudet.

Koepuuaineistoon (taulukko 3) perustuen laskettiin puun eri osien kuivamassayhtälöt, joiden avulla laskettiin puuston kokonaisbiomassa. Yhtälöt olivat muotoa $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \epsilon$, missä y on puun kuivamassa, a_0 , a_1 sekä a_2

vakioita ja x selittävä muuttuja. Selittävänä muuttujana käytettiin etupäässä rinnankorkeusläpimittaa (taulukko 4). Sekä vesasyntyiselle että vertailupuustolle laskettiin puunosittain yksi yhtälö kuvaamaan koko aineistoa.

Juuriston biomassan määrittystä varten otettiin tutkimusjakson lopussa maanäytteet kahdelta kokopuun korjuun koalalta ja edelleen kahdelta koalalta vertailupuustosta. Näytteet otettiin samalla menetelmällä kuin maanäytteet ravinnemäärityksiä varten. Juuret eroteltiin tuoreesta maanäytteestä huuhtelemalla vedellä 1 mm seulalla ja poimimalla eroon lepän elävät juuret nystyröineen sekä muiden kasvien, etupäässä ruohojen, elävät juuret.

Juuret kuivattiin 105°C:ssa (n. 2 vrk) ja niiden kuivamassa määritettiin. Tämän jälkeen juuret poltettiin ja määritettiin niiden sisältämän orgaanisen ja epäorgaanisen aineksen osuus.

Runko-, oksa-, lehti- ja kantonäytteistä määritettiin typi-, fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium-, mangaani-, kupari-, sinkki-, ja booripitoisuudet Metsäntutkimuslaitoksella käytössä olevin menetelmin (Halonen ym. 1983). Kasvinäytteet analysoitiin puunosittain ja koaloittain yhdistettyinä lukuunottamatta lehtiä, jotka analysoitiin kahdeksan kasvukauden jälkeen koepuittain.

Taulukko 4. Puun eri osien massayhtälöt. Vesasyntyinen puusto $y = g$, $d = mm$, $h = dm$. Vertailupuusto $y = g$, $d = cm$.

Table 4. Equations for the dry matter of different tree compartments. Coppiced stand $y = g$, $d = mm$, $h = dm$. Reference stand $y = g$, $d = cm$.

Puun osa Tree compartment		Vuosi — Year	
		1984	1987
Vesasyntyinen puusto Coppiced stand	Runko Stem	$y=12,5+0,92d^2$ $r^2=0,96$ $n=179$ $CV=16$	$y=144,5-19,1d+1,42d^2$ $r^2=0,97$ $n=178$ $CV=18$
	Oksat Branches	$y=35,5+0,45d^2-0,097h^2$ $r^2=0,86$ $n=178$ $CV=41$	$y=89,7-10,5d+0,39d^2$ $r^2=0,82$ $n=179$ $CV=53$
	Lehdet Leaves	$y=-4,56+0,16d^2$ $r^2=0,86$ $n=178$ $CV=38$	$y=28,4-4,15d+0,22d^2$ $r^2=0,85$ $n=179$ $CV=43$
	Kanto Stump		$y=13,9+0,17d+0,39d^2$ $r^2=0,58$ $n=48$ $CV=17$
Vertailupuusto Reference stand	Runkopuu Stemwood		$y=24,2-2,92d+1,99d^2$ $r^2=0,92$ $n=45$ $CV=13$
	Kuori Bark		$y=1,79+0,79d+0,17d^2$ $r^2=0,75$ $n=45$ $CV=21$
	Oksat Branches		$y=6926-1597d+129d^2$ $r^2=0,92$ $n=45$ $CV=20$
	Lehdet Leaves		$y=-516,7+57,4d+3,38d^2$ $r^2=0,48$ $n=45$ $CV=69$

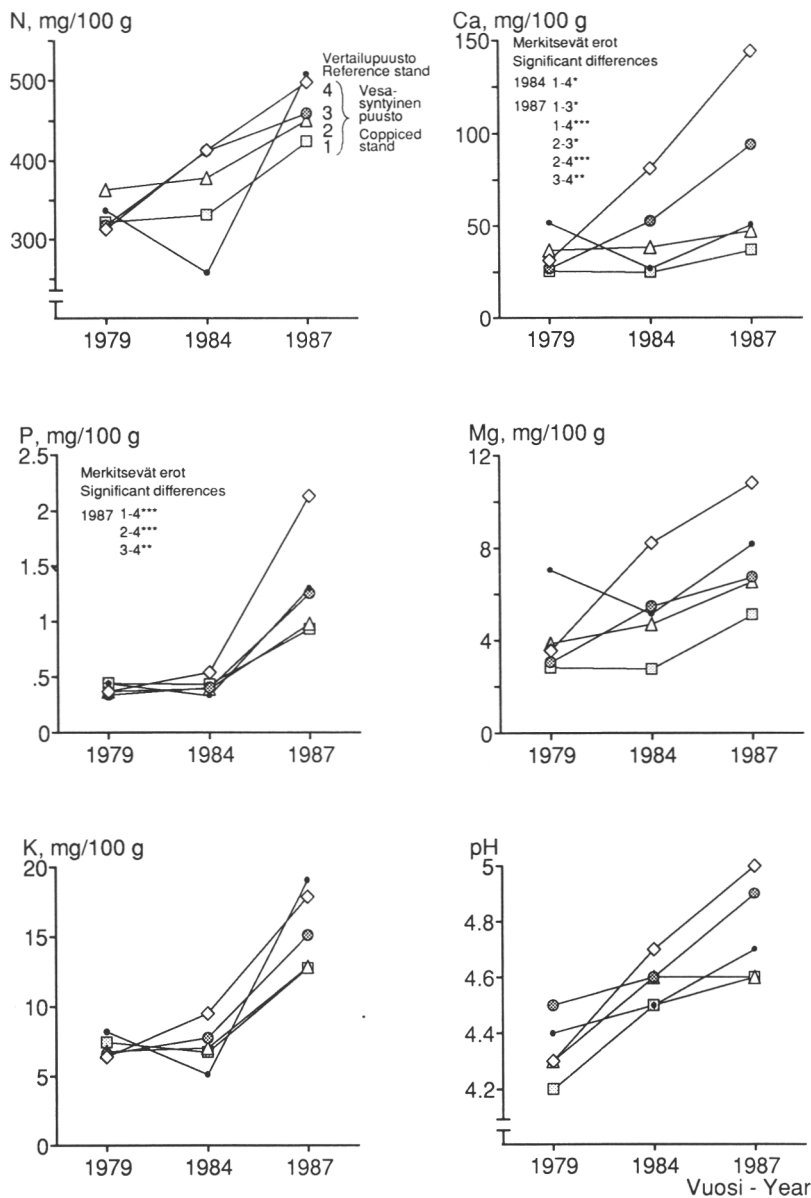
3. Tulokset

31. Kasvatusolosuhteet

Vesasyntyisessä metsikössä 0–10 cm maakeroksen fosfori- ja kalsiumpitoisuudet kohosivat merkitsevästi uusintalannoituksen jälkeen (kuva 1). Johtuen lehtikarikkeen suuresta määrästä on todennäköistä, että orgaanista ainesta kertyi vesasyntyisessä metsikössä vuosittain enemmän kuin paikalla aikaisemmin kasvaneessa emo-

puustossa. Erillistä humuskerrosta ei kuitenkaan voitu vielä kahdeksan kasvukauden jälkeen erottaa. Orgaanisen aineksen lisääntyneestä määrästä 0–10 cm maakerroksessa ilmeisesti johtui, että myös lannoittamattomilla koealoilla typen, fosforin, kaliumin ja magnesiumin pitoisuudet maassa olivat tutkimusjakson lopussa korkeammat kuin tutkimusjakson alussa.

Tutkimusjakson lopussa käsittelyjen väliset



Kuva 1. Maan ravinnepitoisuudet ja pH 0–10 cm kerroksessa tutkimusjakson aikana. Käsittelyt: 1 = runkopuun korjuu ($d \geq 5$ cm), 2 = kokopuun korjuu, 3 = kokopuun korjuu + 3000 kg/ha puuntuhkaa (1980) + 700 kg/ha hiven PK:ta (1985), 4 = kokopuun korjuu + 3000 kg/ha puuntuhkaa ja 290 kg/ha superfosfaattia (1980) + 700 kg/ha hiven PK:ta (1985 ja 1986). Vertailupuusto on osa alkuperäistä lepikkoa, joka jätettiin tutkimusjakson alussa kasvamaan.

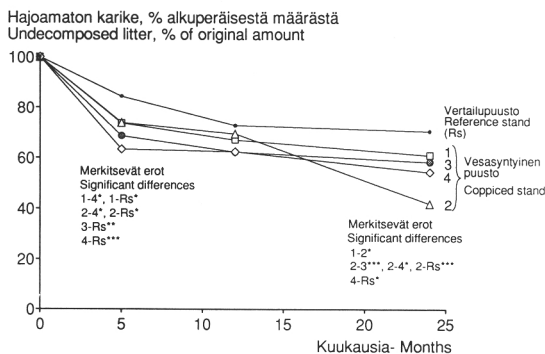
Figure 1. Nutrient contents and pH of the 0–10 cm soil layer during the course of the study. Treatments: 1 = harvesting of stem wood ($d \geq 5$ cm), 2 = whole tree harvesting, 3 = whole tree harvesting + 3000 kg/ha wood ash (1980) + 700 kg/ha PK with micronutrients (1985), 4 = whole tree harvesting + 3000 kg/ha wood ash and 290 kg/ha superphosphate (1980) + 700 kg/ha PK with micronutrients (1985 and 1986). Reference stand is an uncoppiced part of the original stand and it is used for comparison.

Taulukko 5. Kokonaistypen, heppoliukoisen fosforin sekä vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät (kg/ha), hiilen määrä (t/ha) sekä pH_{vesi} eri maakerroksissa kahdeksan kasvukauden jälkeen. Käsittelyt 1–4, ks. kuva 1.
 Table 5. Amount of total nitrogen, easily soluble phosphorus, exchangeable potassium, calcium and magnesium (kg/ha), carbon (t/ha) and pH_{water} in different soil layers after eight growing seasons. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.

Ravinne Nutrient	Maakerros Soil layer cm	Vesasyntyinen metsikkö — Coppiced stand								Vertailumetsikkö Reference stand		Merkitsevät erot käsittelyjen 1–4 välillä — Significant differences between treatments 1–4
		Käsittely — Treatment										
		1		2		3		4		\bar{x}	s_x	
		\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	
N	0–5	1450	68	1702	215	1535	72	1625	72	1705	75	
	5–10	1292	83	1287	83	1501	138	1461	99	1473	94	
	10–20	1930	132	1966	256	2295	216	2189	47	2207	185	
	20–30	1351	97	1265	33	1557	135	1444	60	1302	379	
	30–40	916	185	606	50	811	139	1251	69	1154	365	2–4*
P	0–5	3,3	0,5	3,7	0,7	5,1	0,2	8,8	0,8	4,8	0,7	1–4***, 2–4***, 3–4***
	5–10	2,8	0	2,7	0,3	3,2	0,4	4,3	0,2	3,3	0	1–4***, 2–4***, 3–4**
	10–20	5,6	0,3	5,5	0,8	6,1	0,9	7,4	1,0	6,4	0,5	
	20–30	4,7	0,4	4,9	0,9	4,9	0,8	6,8	0,2	5,1	0,5	1–4*
	30–40	4,0	0,2	4,2	0,9	4,8	0,7	5,1	0,2	4,4	0,7	
K	0–5	55	4	54	3	63	2	71	2	74	7	1–4*, 2–4*
	5–10	27	1	31	1	37	2	40	2	43	8	1–4*
	10–20	32	3	35	5	41	4	53	2	44	2	1–4**, 2–4**, 3–4*
	20–30	24	3	26	2	36	3	44	3	33	5	1–3*, 1–4**, 2–4**
	30–40	23	2	21	2	31	2	35	3	30	2	1–3*, 1–4**, 2–3*, 2–4**
Ca	0–5	157	20	181	34	408	31	572	85	194	29	1–3**, 1–4***, 2–3**, 2–4***, 3–4*
	5–10	80	21	133	70	210	31	322	83	111	27	1–4**, 2–4*
	10–20	129	32	198	117	183	49	272	80	154	31	
	20–30	136	34	99	49	145	71	167	51	133	34	
	30–40	158	54	75	37	104	45	122	45	181	71	
Mg	0–5	22	4	26	6	28	0	41	4	30	6	1–4*, 2–4*
	5–10	11	3	17	8	16	2	26	6	18	6	
	10–20	13	4	21	14	15	4	27	9	21	6	
	20–30	11	2	10	6	12	5	17	6	25	14	
	30–40	12	3	7	4	10	4	11	4	46	36	
C	0–5	21	1	24	3	22	1	24	0	23	1	
	5–10	19	1	19	1	22	2	21	1	21	2	
	10–20	30	2	31	4	34	2	34	1	33	4	
	20–30	19	3	18	2	22	3	21	0	19	3	
	30–40	13	2	11	1	13	1	16	2	16	6	
pH	0–5	4,8	0,1	4,7	0,2	5,1	0,1	5,2	0,1	4,8	0,1	2–3*
	5–10	4,6	0,1	4,6	0,1	4,8	0,1	4,9	0,2	4,5	0	
	10–20	4,7	0,1	4,8	0,1	4,8	0,1	4,9	0,1	4,7	0,1	
	20–30	5,0	0	5,0	0,1	4,9	0,1	5,0	0	5,0	0,1	
	30–40	5,2	0	5,1	0,1	5,0	0,1	5,1	0,1	5,2	0,2	

erot maan ravinnemäärissä näkyivät, kaliumia lukuunottamatta, lähinnä 0–5 cm ja 5–10 cm maakerroksessa (taulukko 5). Jo pienimmän ravinnelisäyksen (käsittely 3) jälkeen kalsiumin, mangaanin ja kuparin määrät 0–5 cm maakerroksessa olivat merkitsevästi suuremmat kuin lannoittamattomilla koaloilla (käsittelyt 1 ja 2). Suurimman ravinnelisäyksen (käsittely 4) jäl-

keen fosforin ja kalsiumin määrät 0–5 cm maakerroksessa olivat merkitsevästi suuremmat kuin muissa käsittelyissä, ja edelleen kaliumin, magnesiumin, mangaanin sekä kuparin määrät suuremmat kuin lannoittamattomilla koaloilla. Fosforin määrässä ero muihin käsittelyihin näkyi vielä 5–10 cm maakerroksessa. Lannoittamattomilla koaloilla maan ravinnemäärät eivät



Kuva 2. Karikkeen hajoaminen lepikossa 5, 12 ja 24 kuukauden aikana. Käsittelyt 1–4, ks. kuva 1.

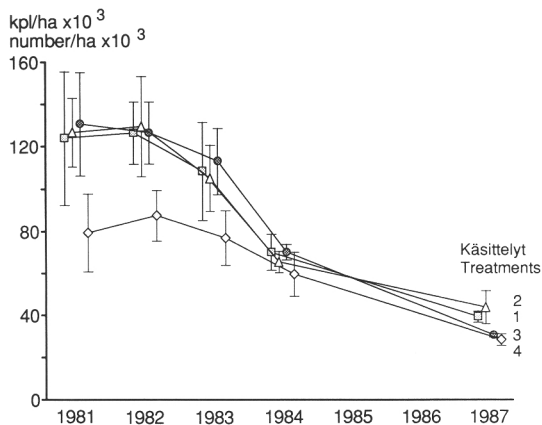
Figure 2. Litter decomposition in the alder stand after 5, 12 and 24 months. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.

eronneet toisistaan merkitsevästi.

Maan pH oli tutkimusjakson alussa alhainen (kuva 1), mikä on lepikoille tyypillistä (esim. Tarrant & Trappe 1971). Tutkimusjakson aikana maan pH kohosi kaikissa käsittelyissä, eniten lannoitetuilla koaloilla. Maan pH oli 0–5 cm maakerroksessa korkeampi kuin 5–10 cm maakerroksessa ja kohosi syvemmälle mentäessä (taulukko 5).

Maan ominaisuuksien ohella karikkeen hajoamisnopeutta säätelee orgaanisen aineen hiilen ja typen suhde (C/N), joka pienenee hajoamisen edistytessä. Hiilen ja typen suhde oli kokeen päättyessä tutkittavissa maakerroksissa hyvä, 0–5 ja 5–10 cm maakerroksissa 14–15, eikä käsittelyjen välillä ollut merkitseviä eroja.

Vesasyntyisen puuston koaloilla karikkeesta hajosi viiden kuukauden aikana keskimäärin 30 % (kuva 2). Hajoaminen hidastui tämän jälkeen selvästi. Lannoittamattomilla kokopuun korjuun koaloilla kariketta hajosi kahdessa vuodessa merkitsevästi enemmän kuin muissa käsittelyissä. Vertailupuuston koaloilla karikkeen hajoaminen oli merkitsevästi hitaampaa kuin vesasyntyisen puuston koaloilla. Selluloosasta puolestaan hajosi sekä vesasyntyisen että vertailupuuston koaloilla viiden kuukauden aikana vajaa 30 %. Kahdessa vuodessa selluloosa hajosi kokonaan.



Kuva 3. Vesojen lukumäärän kehitys tutkimusjakson aikana. Käsittelyt 1–4, ks. kuva 1.

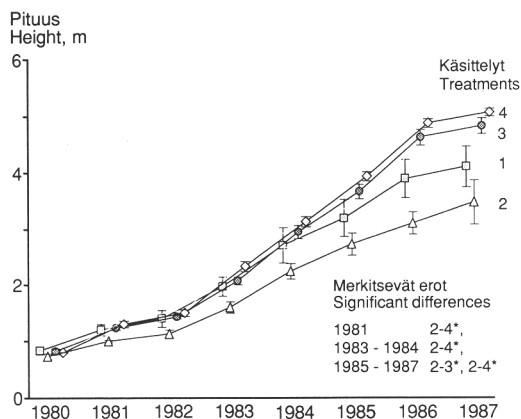
Figure 3. Development of the number of the alder sprouts during the course of the experiment. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.

32. Harmaalepän vesojen kehitys ja biomassan määrä

Tutkimusjakson alussa puuston runkoluku oli keskimäärin 18 800 (käsittely 1), 16 840 (käsittely 2), 15 790 (käsittely 3) ja 17 240 (käsittely 4). Runkojen lukumäärässä ei käsittelyjen välillä ollut merkitseviä eroja. Puunkorjuuta seuraavana keväänä kuhunkin kantaan kehittyi useita vesoja. Tuhka- ja fosforilannoitus vähensi vesomista, mutta vesoja kuoli tässä käsittelyssä vähemmän kuin muissa käsittelyissä (kuva 3). Kahden kasvukauden jälkeen vesojen lukumäärä kantoa kohti oli tuhkaa ja fosforia saaneilla koaloilla keskimäärin 5, kun se muissa käsittelyissä oli 7–8. Kahdeksan kasvukauden jälkeen kaikissa käsittelyissä oli enää keskimäärin kaksi vesaa kantoa kohti.

Vesojen keskipituus oli kokeen päättyessä runkopuun korjuun koaloilla 4,1 m ja lannoittamattomilla kokopuun korjuun koaloilla 3,5 m (kuva 4). Lannoitus lisäsi sekä vesojen keskipituutta että keskiläpimittaa. Kokeen päättyessä vesojen keskipituus oli suurimman ravinnelisyksen saaneilla koaloilla 5,1 m ja keskiläpimitta 29 mm (taulukko 6).

Vesasyntyisen puuston maanpäällisten osien biomassassa oli lannoitetuilla koaloilla sekä viiden että kahdeksan kasvukauden jälkeen kaksi kertaa niin suuri kuin lannoittamattomilla kokopuun korjuun koaloilla, joilla puuston biomassassa oli pienin (kuva 5 ja liite 2). Biomassan määrässä ei suurimman ja pienimmän ravinnelisyksen välillä ollut merkitseviä eroja. Lehtien



Kuva 4. Vesojen keskipituuden kehitys tutkimusjakson aikana. Käsittelyt 1–4, ks. kuva 1.

Figure 4. Development of the mean height of the alder sprouts during the course of the experiment. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.

Taulukko 6. Vesojen keskiläpimitta ($d_{1,3}$) viiden (1984) ja kahdeksan (1987) kasvukauden jälkeen.

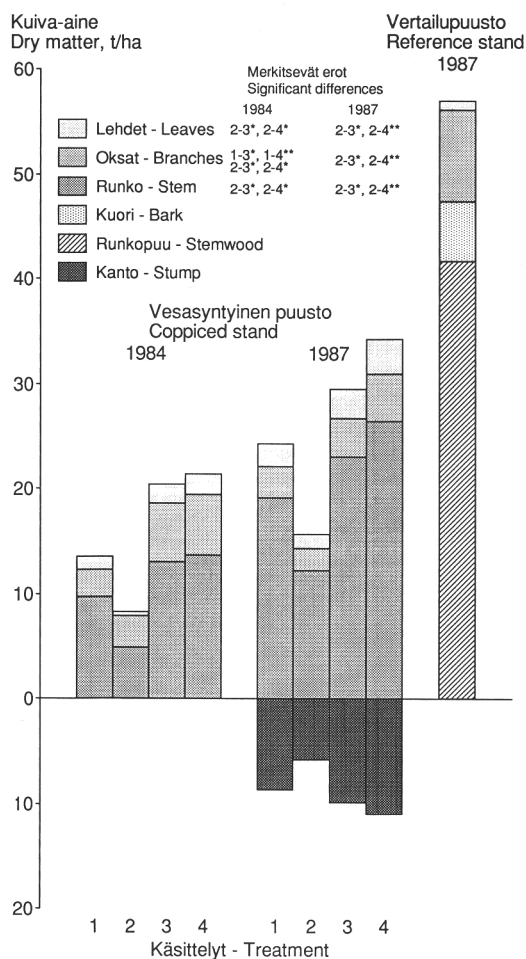
Table 6. Mean stem diameter ($d_{1,3}$) after five (1984) and eight (1987) growing seasons.

Käsittely — Treatment	Keskiläpimitta Mean stem diameter, mm	
	1984	1987
1 Runkopuun korjuu Harvesting of stem wood	10	20
2 Kokopuun korjuu Whole tree harvesting	7	16
3 Kuten käsittely 2 + puuntuhka + PK As treatment 2 + wood ash + PK	12	26
4 Kuten käsittely 2 + puuntuhka + superfosfaatti + PK + PK As treatment 2 + wood ash + superphosphate + PK + PK	14	29
Merkitsevät erot Significant differences	2–4*	2–3*, 2–4**

osuus puuston maanpäällisten osien biomassasta oli viiden kasvukauden jälkeen keskimäärin 8 % ja kahdeksan kasvukauden jälkeen keskimäärin 9 %.

Kantojen biomassan määrissä käsittelyjen väliset erot olivat saman suuntaisia kuin puuston maanpäällisten osien biomassassa, joskaan erot eivät olleet merkitseviä (kuva 5).

Vertailupuuston maanpäällisten osien biomassaa oli kokeen päättyessä, jolloin vertailupuusto



Kuva 5. Puuston kuiva-ainemäärä viiden (1984) ja kahdeksan (1987) kasvukauden jälkeen. Käsittelyt 1–4, ks. kuva 1.

Figure 5. Amount of dry matter of the tree crop after five (1984) and eight (1987) growing seasons. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.

oli 25 vuoden ikäinen, lähes kaksi kertaa niin suuri kuin vesasyntyisten leppien biomassaa lannoitetuilla koealoilla (kuva 5 ja liite 2). Lehtien osuus puuston maanpäällisestä biomassasta oli keskimäärin 2 %. Kuoren osuus rungon massasta oli vertailupuustossa keskimäärin 12 %. Vertailupuuston runkotelavuus oli kokeen päättyessä yli kaksi kertaa niin suuri kuin tutkimusjakson alussa (taulukko 7).

Valtaosa juurista oli 0–10 cm maakerroksessa, kuitenkin niitä löytyi vielä 30–40 cm maakerroksesta (taulukko 8). Lepän juurten keskimääräinen biomassaa oli 0–40 cm maakerroksessa vesasyntyisessä puustossa 12 t/ha ja vertailupuustossa 10 t/ha. Pintakasvillisuuden juurten

osuus juurten kokonaisbiomassasta oli vesasyntyisessä metsikössä 9 % ja vertailumetsikössä 3 %.

33. Harmaalepän vesojen ravinteiden käyttö

Lannoituksen vaikutus puiden ravinnepitoisuuksiin näkyi selvimmin lehdistä (liitteet 3 ja 4). Lannoitetuilla koealoilla lehtien fosfori-, kalium- ja booripitoisuudet olivat kahdeksan kasvukauden jälkeen merkitsevästi korkeammat, kuparipitoisuus puolestaan merkitsevästi pienempi, kuin lannoittamattomilla koealoilla. Leh-

tien ravinnepitoisuuksissa oli eroa myös lannoituskäsitelyjen välillä. Kahdeksan kasvukauden jälkeen suurimman ravinnelisäyksen saaneilla koealoilla lehtien boori- ja mangaanipitoisuudet olivat, päinvastoin kuin sinkkipitoisuus, merkitsevästi korkeammat kuin pienimmän ravinnelisäyksen saaneilla koealoilla. Lannoittamattomilla kokopuun korjuun koealoilla lehtien fosforipitoisuus oli kahdeksan kasvukauden jälkeen merkitsevästi pienempi kuin muissa käsittelyissä.

Huolimatta lannoituksessa puiden saamasta varsin suuresta kaliumin määrästä ei lehtien kaliumpitoisuudessa ollut merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. Ravinnepitoisuuksien vuotuisesta vaihtelusta ilmeisesti johtui, että myös lannoittamattomilla koealoilla lehtien typpi-, fosfori-, kalium-, boori- ja rautapitoisuudet olivat suuremmat kahdeksan kuin viiden kasvukauden jälkeen. Lehtien kalsium-, kupari- ja sinkkipitoisuudet olivat sitä vastoin sekä lannoitetuilla että lannoittamattomilla koealoilla pienemmät kahdeksan kuin viiden kasvukauden jälkeen.

Kahdeksan kasvukauden jälkeen lannoitetuilla koealoilla myös oksien fosforipitoisuus oli merkitsevästi suurempi ja kupari- sekä sinkkipitoisuudet pienemmät kuin lannoittamattomilla koealoilla (liite 4). Ero oksien sinkkipitoisuudessa lannoitettujen ja lannoittamattomien koealojen välillä ilmeni jo viiden kasvukauden jälkeen.

Rungon ravinnepitoisuudet (liitteet 3 ja 4) olivat selvästi pienemmät kuin lehtien ja oksien ravinnepitoisuudet. Kuten lehtien myös runkojen fosforipitoisuus oli suurempi ja kuparipitoisuus pienempi lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koealoilla kahdeksan kasvukauden jälkeen.

Taulukko 7. Vertailupuuston puustotunnukset tutkimusjakson aikana.

Table 7. Development of the tree stand characteristics in the reference stand during the course of the experiment.

Puustotunnus Tree stand characteristic		1981 (kevät — spring)	1984 (syksy — autumn)	1987
Runkoluku, kpl/ha Stem number	\bar{x}	2822	2822	2807
	s_x	195	191	195
Keskiläpimitta, cm Mean diameter	\bar{x}	7,5	9,2	10,2
	s_x	0,2	0,3	0,3
Keskipituus, m Mean height	\bar{x}	9,1	9,6	11,8
	s_x	0,1	0,4	0,2
Pohjapinta-ala, m ² /ha Basal area	\bar{x}	10,23	16,00	19,73
	s_x	1,10	1,70	2,07
Runkotilavuus kuorineen, m ³ /ha Stem volume (overbark)	\bar{x}	50,02	76,53	114,17
	s_x	6,55	9,17	14,69

Taulukko 8. Juurten biomassa (kg/ha) vesasyntyisessä puustossa ja vertailupuustossa tutkimusjakson lopussa.

Table 8. Root biomass (kg/ha) in the coppiced and reference stand at the end of the study.

Maakerros Soil layer, cm	Lepän juuret — Alder roots				Muut juuret — Other roots			
	Vesasyntyinen puusto Coppiced stand		Vertailupuusto Reference stand		Vesasyntyinen puusto Coppiced stand		Vertailupuusto Reference stand	
	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x
0—5	3250	1700	3550	710	560	110	180	100
5—10	4290	2050	3350	440	180	30	90	40
10—20	3540	1300	1490	170	250	160	80	20
20—30	640	4	990	10	110	90	7	3
30—40	450	90	950	390	130	120	5	3
Yhteensä Total	12170		10330		1230		362	

Kantojen typpi- ja kaliumpitoisuudet sekä fosfori- ja magnesiumpitoisuudet lannoitetuilla koealoilla olivat jonkin verran suuremmat ja rautapitoisuus selvästi suurempi kuin rungon vastaavat ravinnepitoisuudet (liite 4). Lannoitus lisäsi myös kantojen fosforipitoisuutta.

Vertailupuuston lehtien typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat selvästi pienemmät kuin vesasyntyisessä puustossa (liitteet 4 ja 5). Vertailupuustosta otettiin näytteet syyskuun puolivälissä eli n. kaksi viikkoa myöhemmin kuin vesasyntyisestä puustosta. Ilmeisesti osa ravinteista oli jo siirtynyt lehdistä muihin puun osiin, mikä vaikeuttaa ravinnepitoisuuksien tulkintaa. Toisaalta myös oksien kalium-, mangaani- ja booripitoisuudet olivat vertailupuustossa pienemmät kuin vesasyntyisessä puustossa. Vertailupuuston runkopuu ja kuori analysoitiin erikseen ja tästä syystä vertailupuuston ja vesasynty-

tyisen puuston runkojen ravinnepitoisuuksien vertailu on vaikeaa.

Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrät (liite 6) laskettiin puun eri osien biomassojen (liite 2) ja niiden keskimääräisten ravinnepitoisuuksien (liitteet 3, 4 ja 5) avulla. Kahdeksan kasvukauden jälkeen vesasyntyisen puuston latvusto, jonka osuus puuston maanpäällisestä biomassasta oli 22 %, sisälsi puuston maanpäällisiin osiin sitoutuneesta tyypestä, kaliumista ja magnesiumista 52 %, kalsiumista 45 % ja fosforista 43 %. Puuston maanpäällisiin osiin sitoutuneesta raudasta oli latvustossa tuolloin 64 %, muista hivenaineista 36–45 %.

Vertailupuustossa latvuston osuus puuston maanpäällisestä biomassasta oli 17 % ja siihen oli sitoutunut 30–40 % puuston maanpäällisiin osiin sitoutuneista ravinteista eli suhteellisesti pienempi osa kuin vesasyntyisessä puustossa.

4. Tulosten tarkastelua

Harmaalepikon puuston runkotilavuus oli tutkimusjakson alussa samaa suuruusluokkaa kuin Miettinen (1932) on vastaavan ikäisille käenkaali-mustikkatyypin harmaalepikoille esittänyt. Tässä tarkasteltavan puuston vesomiskyky oli vielä hyvä, vaikka vesomiskyvyn tiedetään heikenevän iän myötä (Ferm ym. 1985).

Kokopuun korjuun yhteydessä kasvupaikalta poistui keskimäärin tyypeä 240, fosforia 18, kaliumia 83 ja kalsiumia 126 kg/ha. Haketonnia kohti ilmaistuna kasvupaikalta poistui yhtä paljon fosforia ja jonkin verran enemmän tyypeä, kaliumia sekä kalsiumia kuin Saarsalmen & Mälvkösen (1989) tutkimista käenkaali-mustikkatyypin harmaalepikoista (taulukko 9). Samoin tyypeä, kaliumia ja kalsiumia poistui enemmän kuin hieskoivikoista (Mälvkönen & Saarsalmi 1982).

Kasvualustan typpipitoisuus oli korkea eikä siinä ilmennyt eroja eri käsittelyjen välillä. Lehtien typpipitoisuus oli korkeampi kuin mitä aiemmin on esitetty (Viro 1955, Voigt & Steueck 1969, van Cleve ym. 1971, Turner ym. 1976, Saarsalmi & Mälvkönen 1989). Tutkimusjakson aikana ei lehtien typpipitoisuudessa ollut merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä.

Helppoliukoisien fosforin määrä vaihtelee suuresti kasvupaikoittain ja metsätyypeittäin (Viro 1969). Helppoliukoisien fosforin määrä 0–30 cm maakerroksessa oli ennen lannoitusta suh-

teellisen alhainen. Uusintalannoitus lisäsi merkittävästi helppoliukoisien fosforin määrää lannoittamattomiin koealoihin verrattuna.

Viiden kasvukauden jälkeen lehtien fosforipitoisuus oli lannoittamattomassa vesasyntyisessä puustossa samaa tasoa kuin Millerin (1983b) lehtipuille esittämä kriittinen arvo, kahdeksan kasvukauden jälkeen puolestaan jonkin verran korkeampi. Fosfori oli tuolloin ainoa ravinne,

Taulukko 9. Ravinteiden menetys lehdettömänä aikana suoritettua koko puun korjuussa (kg ravinnetta / t kokopuuhaketta) harmaalepikossa ja hieskoivikossa. 1) Tämä tutkimus, 2) Saarsalmi & Mälvkönen 1989, 3) Mälvkönen & Saarsalmi 1982.

Table 9. Loss of nutrients in whole-tree harvesting after leaf fall in some *Alnus incana* and *Betula pubescens* stands (kg nutrient / t of chips). 1) This study, 2) Saarsalmi & Mälvkönen 1989, 3) Mälvkönen & Saarsalmi 1982.

Ravinne Nutrient	<i>Alnus incana</i>			<i>Betula pubescens</i>	
	¹ OMaT 18a	² OMaT 35a	³ OMT 35a	³ OMT 20a	³ OMT 40a
N	5,8	4,8	6,0	2,6	1,9
P	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2
K	1,6	1,5	1,6	1,1	0,8
Ca	2,6	2,3	2,6	1,7	1,3

jonka pitoisuudessa oli merkitsevä ero eri korjuumenetelmiä edustavien käsittelyjen välillä.

Uusintalannoituksen aiheuttama maan fosforipitoisuuden merkitsevä kohoaminen heijastui myös lehdissä. Lannoitetuilla koealoilla lehtien fosforipitoisuudet olivat korkeammat kuin Millerin (1983b) lehtipuiden lehdille esittämä optimiarvo 2,4 g/kg. Toisin kuin 0–5 cm maakerroksen fosforimäärissä, ei ero lehtien fosforipitoisuuksissa lannoituskäsittelyjen välillä ollut merkitsevä. Luontaisesti syntyneissä harmaalepikoissa lehtien fosforipitoisuus on ollut 1,9–2,0 g/kg. (Viro 1955, Saarsalmi & Mälkönen 1989).

Puut saivat lannoituksen yhteydessä kaliumia lähes kaksi kertaa niin paljon kuin fosforia. Vaikka merkitsevät erot maan kaliumin määrissä lannoitettujen ja lannoittamattomien koealojen välillä olivat nähtävissä tutkimusjakson lopussa vielä 30–40 cm syvyydessä ei puiden kaliumpitoisuuksissa havaittu merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä tutkimusjakson aikana. Ilmeisesti kaliumia oli puiden kannalta maassa jo alunperin riittävästi eikä kaliumin lisäyksellä ollut harmaalepän kannalta merkitystä.

Tuhkalannoitus lisäsi maan kalsiumin määrää, mutta merkitseviksi käsittelyjen väliset erot tulivat vasta uusintalannoituksen jälkeen. Myös maan pH kohosi. Maan happamuudella ei kuitenkaan ole todettu olevan vaikutusta lepän kasvuun, kun pH on vaihdellut välillä 3,8–6,7 (Ericsson & Lindsjö 1981). Lannoitetuilla koealoilla maan kalsiumin määrän merkitsevä kohoaminen lannoittamattomiin koealoihin verrattuna heijastui myös lehdissä.

Vaikka kuparin ja mangaanin määrä maassa lisääntyi merkitsevästi lannoituksen johdosta, lehtien, runkojen ja oksien kuparipitoisuudet sekä runkojen, oksien ja kantojen mangaanipitoisuudet laskivat. Kyse voi olla mainittujen ravinteiden antagonismista kalsiumin ja fosforin kanssa (Kabata-Pendias & Pendias 1984).

Lehtien booripitoisuus oli vesasyntyisen puuston lannoittamattomilla koealoilla viiden kasvukauden jälkeen keskimäärin 11 mg/kg. Lehti-
puilla lehtien booripitoisuuden optimiarvoina pidetään 25–30 mg/kg ja kriittisinä arvoina 5–15 mg/kg (Braekke 1983, Miller 1983b). Lepän lehtien booripitoisuudeksi on esitetty keskimäärin 20 mg/kg (Ahrens 1964, Saarsalmi ym. 1985). Tuhkalannoitus sekä uusintalannoitus kohottivat lehtien ja oksien booripitoisuutta lannoittamattomiin puihin verrattuna. Kahdeksan kasvukauden jälkeen ero lehtien booripitoisuudessa oli myös suurimman ja pienimmän ravinnelisyksen välillä merkitsevä. Vesasyntyisen puuston oksien booripitoisuus oli tuolloin lannoitta-

mattoilla koealoilla 10–11 mg/kg. Hieskoivulla on havaittu kasvuhäiriöitä, kun oksien booripitoisuus on ollut alle 10 mg/kg (Ferm & Markkola 1985).

Lannoitus lisäsi kokopuun korjuun koealoilla merkitsevästi runkojen, oksien ja lehtien biomassaa. Ilmeisesti fosforilla, jonka pitoisuus oli sekä maassa että lehdissä merkitsevästi korkeampi lannoitetuilla kuin lannoittamattomilla koealoilla, oli keskeinen merkitys myös kasvunlisäyksessä. Tämä on yhdenmukainen tulos useiden aikaisempien tutkimuksien kanssa, joissa fosfori on ollut ainoa ravinne, joka on positiivisesti vaikuttanut lepän kasvuun (McVean 1956, Themliz & Behrens 1957, Junack 1961, Mayer-Krapoll 1969). Myös korjuumenetelmällä oli vaikutusta vesasyntyisen puuston biomassaan. Kun oksat ja läpimitaltaan alle 5 cm rungon osat oli jätetty kasvupaikalle, oli runkojen ja oksien biomassa suurempi kuin lannoittamattomilla kokopuun korjuun koealoilla.

Vesasyntyisen harmaalepikon runkojen ja oksien biomassa oli kahdeksan kasvukauden jälkeen suurimman lannoituskäsittelyn saaneilla koealoilla 32 t/ha, mikä on samaa luokkaa kuin Keski-Pohjanmaalla kivennäismaalla luontaisesti syntyneiden, tiheiden, alle 10-vuotiaiden harmaalepikoiden runkojen ja oksien biomassa (Björklund & Ferm 1982). Kivennäismaalle istutetun harmaalepikon runkojen ja oksien biomassa on ollut viiden kasvukauden jälkeen keskimäärin 30 t/ha (Saarsalmi ym. 1985) eli puoli-
toista kertaa niin suuri kuin vesasyntyisen puuston biomassa lannoitetuilla koealoilla viiden kasvukauden jälkeen. Rytterin ym. (1989) mukaan on harmaaleppäviljelmän runkojen ja oksien biomassa puolestaan ollut turvealustalla seitsemän kasvukauden jälkeen keskimäärin 29 t/ha.

Tässä tutkimuksessa vesasyntyisen puuston oksien biomassa oli kahdeksan kasvukauden jälkeen pienempi kuin viiden kasvukauden jälkeen. Tämä oli luonnollista, sillä tiheässä kasvustossa alemmat oksat karsiutuvat pois. Kahdeksan kasvukauden jälkeen oksien osuus puubiomassasta oli 14 %, mikä vastaa Simolan (1977), sekä Björklundin & Fermin (1982) saamia tuloksia.

Tässä tutkimuksessa runko- ja oksapuun keskimääräinen vuotuinen tuotos oli parhaimmillaan 3,8 t/ha. Se on samaa suuruusluokkaa Saarsalmen & Mälkösen (1989) tulosten kanssa 35-vuotiaista käenkaali-mustikkatyypin harmaalepikoista, mutta vähemmän kuin Björklund & Ferm (1982) ovat mitanneet alle 10-vuotiaissa luontaisesti syntyneissä harmaalepikoissa.

Harmaalepän vuotuinen tilavuuskasvu riittää kulminoituvan 15–20 vuoden iässä (Miettinen 1932). Vertailupuuston maanpäällisten osien biomassassa oli tutkimusjakson lopussa keskimäärin 57 t/ha ja puuston runkotilavuus oli tutkimusjakson aikana kaksinkertaistunut. Vesasyntyinen puusukupolvi tuotti siten kahdeksassa vuodessa runko- ja oksabiomassaa lannoittamattomilla koealoilla keskimäärin kolmanneksen ja lannoitetuilla koealoilla keskimäärin puolet siitä, mitä vertailupuusto 25 vuodessa. Luontaisesti syntyneissä 35-vuotiaissa harmaalepikoissa puuston maanpäällisten osien biomassassa on ollut 34–69 t/ha (Saarsalmi & Mälkönen 1989), mutta neuvostoliittolaisen tutkimuksen (Utkin ym. 1980) mukaan 20–40 vuotiaissa luontaisesti syntyneissä harmaalepikoissa 70–135 t/ha.

Vertailupuuston lehtien biomassassa oli kahdeksantena vuonna poikkeuksellisen pieni. Vertailupuuston biomassassa määritettiin vasta syyskuun puolivälissä ja on mahdollista, että lehtiä oli jo ennättänyt varista. Toisaalta tiedetään, että valtaosa harmaalepän lehdistä varisee Suomen olosuhteissa syyskuun puolivälistä lokakuun puoliväliin (Schalin 1966, Saarsalmi ym. 1985, Saarsalmi & Mälkönen 1989).

Tämän tutkimuksen mukaan valtaosa lepän juurista oli 0–10 cm maakerroksessa. Harmaalepällä juuret sijaitsevat melkein kokonaan lä-

hellä maan pintaa lähinnä 0–10 cm maakerroksessa (Kalela 1937). Harmaalepän juurten haarojen päät kääntyvät sitä vastoin yleensä alaspäin maassa ja voivat ulottua jopa 1 m syvyyteen (Kalela 1937).

Vesasyntyisessä puustossa lepän juurten biomassassa oli puuston maanpäällisten osien biomassaan nähden suuri. Tähän lieenee kuitenkin syytä se, että vesasyntyisessä puustossa oli omien juurten lisäksi vielä eläviä emopuuston juuria. Vesasyntyisen puuston juurten biomassassa oli runsaat kaksi kertaa niin suuri kuin harmaalepäviljelmän juurten biomassassa neljän kasvukauden jälkeen (Saarsalmi ym. 1985). Vertailupuuston juurten biomassassa oli keskimäärin vajaa 20 % puuston maanpäällisten osien biomassasta. Kirjallisuuden mukaan lepän juurten osuuksi puuston maanpäällisten osien biomassasta on esitetty 20–30 % (Voigt & Steucek 1969, Zavitzovski & Stevens 1972).

Tässä tutkimuksessa käytetyllä menetelmällä voitiin pienetkin juuret erottaa maasta tarkasti. Menetelmä oli kuitenkin erittäin työläs, mistä syystä tarkastelu jouduttiin rajoittamaan kahdelle rinnakkaiskoealalle sekä vesasyntyisessä että vertailupuustossa. Vaikka näyte edusti koealan pinta-alasta pientä osaa, sen katsottiin kuitenkin antavan suhteellisen homogeenisella kasvualustalla hyvän kuvan lepän juuriston biomassasta.

Taulukko 10. Eri puulajien ravinteiden käyttö tuotettua biomassayksikköä kohti. Käsittelyt, ks. kuva 1.

Table 10. Amounts of nutrients consumed by different tree species to produce one unit of biomass. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.

Puulaji — Tree species	Käsittely Treatment	N	P	K kg/1000 kg	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu g/1000 kg	Zn	B
<i>Alnus incana</i> vesat — sprouts OMaT (Tämä tutkimus — This study)	1	14,1	1,0	5,9	3,7	0,8	300	57	7	29	11
	2	12,2	0,9	5,4	3,3	0,7	264	87	6	22	9
	3	15,1	1,5	6,4	5,0	0,8	243	96	9	16	20
	4	14,0	1,3	6,1	4,6	0,8	319	75	3	12	27
<i>Alnus incana</i> OMT — OMaT (Saarsalmi & Mälkönen 1989)		16,7	1,2	5,1	5,8						
<i>Alnus incana</i> viljelmä — plantation (Saarsalmi ym. 1985)		11,8	0,8	3,9	4,3	0,8	125		6	29	9
<i>Betula</i> spp. (Mälkönen 1977)		9,3	0,8	4,0	4,8						
<i>Salix</i> 'Aquatika Gigantea' (Saarsalmi 1984)		12,4	1,9	13,6	4,8	1,5	91		7	62	11
Lauhkean vyöhykkeen lehtipuut Temperate zone deciduous trees (Cole & Rapp 1981)		9,7	0,7	4,8	5,5						

Puusto käytti biomassatonnin tuottamiseen lannoittamattomilla koealoilla sinkkiä lähes kaksi kertaa niin paljon, tyyppiä keskimäärin 90 %, fosforia ja kalsiumia keskimäärin 70 %, booria keskimäärin 40 % ja muita ravinteita lähes yhtä paljon kuin puusto lannoitetuilla koealoilla (taulukko 10).

Millerin (1983a) mukaan lepän ravinteiden otto on ilmeisesti suurimmillaan 3–6 vuoden iässä. Kuitenkin tämän tutkimuksen vesisyntyinen puusto käytti lannoittamattomilla koealoilla biomassatonnin tuottamiseen tyyppiä, fosforia ja kalsiumia vähemmän kuin luontaisesti syntyneet 35-vuotiaat harmaalepikot (taulukko 10). Lehtien osuus vuotuisesta biomassatuotoksesta oli 35-vuotiaissa harmaalepikoissa 39 % ja vesisyntyisessä puustossa 33 %. Ilmeistä on, että lehtien osuudella vuotuisesta biomassatuotoksesta on merkitystä puuston ravinteiden käyttöä arvioitaessa. Yleensä lehtien osuus vuotuisesta biomassatuotoksesta on nuoressa puustossa

suurempi kuin vanhassa puustossa. Vesisyntyinen puusto käytti lannoittamattomilla koealoilla biomassatonnin tuottamiseen enemmän tyyppiä, fosforia, kaliumia ja mangaania kuin harmaaleppäviljelmä, jossa lehtien osuus vuotuisesta biomassatuotoksesta oli 20 % (taulukko 10).

Lepän karikkeen ligniinipitoisuus on alhainen ja typpipitoisuus korkea, mistä johtuu, että leppäkarikkeen hajoaminen on yleensä nopeaa (Mikola 1954, Mellilo ym. 1982). Vesisyntyisessä metsikössä oli karikkeesta hajonnut kahden vuoden aikana vain vajaa 50 %. Hitaaseen hajoamiseen oli syynä se, että leppäkarikkeen lisäksi mukana oli ruohoa. Kokopuun korjuun koealoilla tuhka ja fosforilannoitus hidastivat karikkeen hajoamista. Karikkeen hajoaminen oli vesisyntyisessä metsikössä merkitsevästi nopeampaa kuin vertailumetsikössä. Ilmeisesti vesisyntyisessä metsikössä oli edullisemmat kosteus- ja lämpöolot kuin vertailumetsikössä.

5. Johtopäätöksiä

Tämän tutkimusaineiston perusteella voidaan tehdä seuraavia päätelmiä:

- Harmaalepällä kokopuun korjuu pienentää huomattavasti vesisyntyisen puusukupolven biomassan tuotosta. Emopuusto tulisi tämän vuoksi korjata runkopuuna.
- Vesisyntyisen puusukupolven biomassan tuotosta voidaan lisätä lannoituksella. Tällöin näyttäisi fosforilla olevan harmaalepän kasvuille keskeinen merkitys.

- Koska emopuuston juuristo säilyy elossa useita vuosia puuston korjuun jälkeen, jäänee ravinteiden huuhtoutuminen vesisyntyisessä metsikössä vähäisemmäksi kuin perinteisen avohakkuun ja kokopuun korjuun jälkeen.
- Harmaalepän vesomiskyky on hyvä vielä lähes 20-vuotiaana. Tuhka- ja fosforilannoitus vähentää vesomista, mutta edistää vesojen eloonjäämistä.

Kirjallisuus — References

- Ahrens, E. 1964. Untersuchungen über den Gehalt von Blättern und Nadeln verschiedener Baumarten an Kupfer, Zink, Bor, Molybdän und Mangan. Allgemeine Forstliche Jagdzeitung 135: 8–16.
- Becking, J.H. 1961. A requirement of molybdenum for the symbiotic nitrogen fixation in alder (*Alnus glutinosa* Gaertn.). Plant and Soil 15: 217–227.
- Björklund, T. & Fern, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomass ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. Folia Forestalia 500. 37 s.
- Blake, T.J. 1981. Dieback and stump senescence following decapitation of eucalyptus in relation to auxin and phenols. Canadian Journal of Forest Research 11(2): 291–297.
- Braekke, F.H. 1983. Micronutrients-prophylactic use and cure of forest growth disturbances. In: Kolari, K.K. (toim.) Growth disturbances of forest trees. Proceedings of international workshop and excursion held in Jyväskylä and Kivisuo, Finland, 10–13. October, 1982. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Jyväskylässä ja Kivisuolla 10–13. lokakuuta, 1982 pidetyn kansainvälisen symposiumin esitelmäraportit. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 45(6). 65 s.
- Chapin, F.S.III., Tryon, P.R. & van Cleve, K. 1983. Influence of phosphorus on growth and biomass distribution of Alaskan taiga tree seedlings. Canadian Journal of Forest Research 13(6): 1092–1098.
- van Cleve, K., Viereck, L.A. & Schlenker, R.L. 1971. Accumulation of nitrogen in alder (*Alnus*) ecosystems near Fairbanks, Alaska. Arctic and Alpine Research 3(2): 101–114.

- Cole, D.W. & Rapp, M. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. Julkaisussa: Reichle, D.E. (toim.) Dynamic properties of forest ecosystems. International Biological Programme 23. Cambridge University Press. Cambridge. s. 341–409.
- Energiametsätoimikunnan mietintö I. Komiteamietintö 1979:49. 111 s.
- Energiametsätoimikunnan mietintö II. Komiteamietintö 1980:50. 323 s.
- Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogar. SLU. Projekt energiskogsodling. Teknisk rapport 11. 7 s.
- Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. Abstract: Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season. *Folia Forestalia* 613. 28 s.
- , Kauppi, A., Rinne, P., Tela, H.-L., Saarsalmi, A. 1985. Energiapuun tuottaminen luonnonvesakoissa. Julkaisussa: Hakki, P. (toim.) Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Summary: The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project. *Folia Forestalia* 624: 29–41.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Heikinheimo, O. 1917. Metsien uudistuminen vesojen avulla. I. Keskusmetsälautakunta Tapio, Helsinki. s. 33–38.
- Ingestad, T. 1981. Nutrition and growth of birch and grey alder seedlings in low conductivity solutions and at varied relative rates of nutrient addition. *Physiologia Plantarum* 52: 454–466.
- Issakainen, J. 1980. Luontaisten vesakoiden biomassan tuotoskyvystä. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 18: 37–48.
- Johnsrud, S.C. 1978. Nitrogen fixation by root nodules of *Alnus incana* in a Norwegian forest ecosystem. *Oikos* 30(3): 475–479.
- Junack, H. 1961. Ein erfolgreicher Düngungsversuch mit Algierphosphat. *Forst- und Holzwirtschaft* 16(18): 390–394.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC PRESS. Florida. 315 s.
- Kalela, E.K. 1937. Tutkimuksia Itä-Suomen kuusi-harmaaleppäsekametsiköiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Fichten-Weisserlen-Mischbestände in Ostfinland. *Acta Forestalia Fennica* 44. 179 s.
- Kauppi, A., Rinne, P. & Ferm, A. 1987. Initiation, structure and sprouting of dormant basal buds in *Betula pubescens*. *Flora (JENA)* 179: 55–83.
- , Kiviniitty, M. & Ferm, A. 1988. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 1603–1613.
- Kramer, P.J. & Kozlovski, T.T. 1979. Physiology of woody plants. Academic Press. New York. 811 s.
- Mayer-Krapoll, H. 1969. Basic slag and its many-sided effects in forest fertilization. *Agricultural Digest* 18: 3–10.
- McVean, D.N. 1956. Ecology of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. III. Seedling Establishment. *Journal of Ecology* 44: 195–218.
- Melliö, J.M. & Aber, J.D. & Muratore, J.M. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63: 621–626.
- Miettinen, L. 1932. Tutkimuksia harmaaleppiköiden kasvusta. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der Weisserlenbestände. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 43(1). 50 s.
- Mikola, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die Ausschlagbildung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung. *Acta Forestalia Fennica* 50(3). 102 s.
- 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeiden hajoamisnopeudesta. Summary: Experiments on the rate of decomposition of forest litter. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 43(1). 50 s.
- Miller, H.G. 1983a. Nutrient cycling in alder. IEA Report 1983(2). National Swedish Board for Energy Source Development. Stockholm. 54 s.
- 1983b. Wood energy plantations — diagnosis of nutrient deficiencies and the prescription of fertilizer applications in biomass production. IEA/FE PG'B', Report 1983(3). 20 s.
- Mälikö, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koi-vikossa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 91(5). 35 s.
- & Saarsalmi, A. 1982. Hieskoivikon biomassan tuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands. *Folia Forestalia* 534. 17 s.
- Rybtsov, V.I. 1969. O roste i kačestve semennoj i poros-levoj ol'hi černoj v krapivnom tipe lesa. *Lesnoj Žurnal* 2: 141–142.
- Rytter, L., Slapokas, T. & Granhall, U. 1989. Woody biomass and litter production of fertilized grey-alder plantations on a low-humified peat bog. *Forest Ecology and Management* 28: 161–176.
- Saarsalmi, A. 1984. Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient and water consumption in *Salix 'Aquatika Gigantea'* plantation. *Folia Forestalia* 602. 29 s.
- , Palmgren, K. & Levula, T. 1985. Leppäviljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient and water consumption in an *Alnus incana* plantation. *Folia Forestalia* 628. 24 s.
- & Mälikö, E. 1989. Harmaaleppikon biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient consumption in *Alnus incana* stands. *Folia Forestalia* 728. 16 s.
- Schalin, I. 1966. Harmaaleppämerkityksestä käytännön metsätaloudessa. Summary: *Alnus incana* (L.) Moench in forestry practice. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 83(9): 362–366.
- Simola, P. 1977. Pienikokaisen lehtipuuston biomassa. Summary: The biomass of small-sized hardwood trees. *Folia Forestalia* 302. 16 s.
- Sprent, J.I. 1979. The biology of nitrogen fixing organisms. McGraw-Hill Company. London. 196 s.
- Sørensen, H. 1936. Orienterende undersøgelser over kunstgødningens virkning til forskellige unge træplanter. Hornum 1931–1935. Summary: Effect of artificial fertilizers on young trees at Hornum. Tidsskrift for Planetavlsudvalg. København.
- Tarrant, R.F. & Trappe, J.H. 1971. The role of *Alnus* in improving the forest environment. Plant and Soil.

- Special Volume: 335–348.
- Themlitz, R. & Behrens, W.U. 1957. Untersuchungen zu Düngungsversuchen mit Rhenaniaphosphat im Forstamt Gartow und zur Phosphorsäureaufnahme aus radioaktivem Phosphat. *Allgemeine Forstzeitung* 12: 232–234.
- Turner, J., Cole, D.W. & Gessel, S.P. 1976. Mineral nutrient accumulation and cycling in a stand of red alder (*Alnus rubra*). *Journal of Ecology* 64: 965–974.
- Turunen, J. 1953. Huomioita harmaalepän juuristosta ja juuriäkämistä. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 3–4: 101–104, 110.
- Utkin, A.I., Gulbe, J.I. & Ermolova, L.S. 1980. Pervicnaja produktivnost' serool'shanikov Jaroslavskoj oblasti. *Lesovedenie* 3: 69–80.
- Viro, P.J. 1955. Investigations on forest litter. *Seloste: Metsäkariketikimukseja. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45(6). 65 s.
- 1969. Prescribed burning in forestry. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(7). 49 s.
- Voigt, G.K. & Steucek, G.L. 1969. Nitrogen distribution and accretion in an alder ecosystem. *Proceedings of Soil Science Society of America* 33: 966–969.
- Zavitkovski, J. & Stevens, R.D. 1972. Primary productivity of red alder ecosystems. *Ecology* 53(2): 235–242.

Total of 52 references

Summary

Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*

The effect of harvesting method, both stemwood and whole-tree, on the sprouting of *Alnus incana* and the effect of fertilization on the biomass production and nutrient consumption of the sprouts were examined in this study. In addition, the biomass production and nutrient consumption of a coppiced and uncoppiced reference stand were also compared. The duration of the study was 8 years.

A field experiment with a randomized block design was established at Vierumäki (N 61°50', S 25°52') in autumn 1979. The treatments were as follows.

1. Stemwood harvesting (d ≥ 5 cm)
2. Whole-tree harvesting
3. Whole-tree harvesting and fertilization:
1980, wood ash, 3000 kg/ha (Appendix 1)
1985, PK with micronutrients, 700 kg/ha (App. 1)
4. Whole-tree harvesting and fertilization:
1980, wood ash, 3000 kg/ha
superphosphate, 290 kg/ha (App. 1)
1985, PK with micronutrients, 700 kg/ha
1986, “

There were three replications of each treatment.

Part of a 17-year-old *Alnus incana* stand growing on a site of the *Oxalis-Myrtillus* type was cut (Table 1). Three plots were marked out in the stand surrounding the cut area in order to follow the future development of an uncoppiced stand (reference stand). The size of the plots in the coppiced stand was 25 × 25 m, and in the reference stand 30 × 30 m.

At the beginning of the study, the trees on the whole-tree harvesting sample plots were cut, and the dry weight and macronutrient contents of the chips determined. The biomass of the coppiced stand was determined after five and eight growing seasons, and that of the reference stand after eight growing seasons. Samples of stem, branches, leaves and stumps were taken at the same time for nutrient analyses. Dry-mass equations were calculated for the different tree compartments on the basis of a sample tree material, and these equations were used to determine the

total biomass of the stand. The biomass model took the form $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \epsilon$, where y is the dry weight of a tree, a_0 , a_1 and a_2 constants, and x the independent variable. The breast-height diameter was primarily used as the independent variable (Table 4). One equation was calculated for each tree compartment to depict the whole material for both the coppiced and reference stands.

Soil samples were taken from two whole-tree harvesting plots and a further two plots in the reference stand at the end of the experiment in order to determine the biomass of the roots. Eight sub-samples were taken with a soil auger (Ø 72 mm) from the 0–10 cm layer and 4 sub-samples from the 10–40 cm layer on each plot. The samples were separated into 0–5, 5–10, 10–20, 20–30 and 30–40 cm layers. The samples from the same plot were bulked by layer. The roots were separated from the fresh samples by rinsing them over a 1 mm sieve and picking out the living alder roots (including nodules).

An organic matter decomposition experiment was established on the site in spring 1981. The decomposition of pure cellulose and litter collected from the site was followed over 5, 12, and 24 months. One third of the cellulose and litter bags were removed from the site at the end of each period, and their loss in weight determined.

A number of sprouts developed from the stumps in the spring following harvesting. Wood ash and phosphorus fertilization reduced the number of developing sprouts, but less sprouts died with this treatment compared to the others (Fig. 3). After two growing seasons the average number of sprouts per stump on the wood ash and P plots was 5, and on the other plots 7–8. After eight growing seasons there was an average of only two sprouts per stump in all the treatments. Fertilization increased both the mean height and diameter of the sprouts. After 8 growing seasons the mean height of the sprouts in the case of the largest nutrient addition was 5.1 m (Fig. 4) and the mean diameter 29 mm (Table 6).

Fertilization significantly increased the amount of stem, branch and leaf biomass on the whole-tree harvested plots. After eight growing seasons the amount of stem and branch biomass on the unfertilized whole-tree harvested

plots was 14 t/ha, and on the corresponding fertilized plots 27 t/ha (treatment 3) and 32 t/ha (treatment 4) (Fig. 5 and Appendix 2). The annual production of wood was 3.8 t/ha in the case of the largest nutrient addition. The phosphorus content was significantly higher in both the soil (Fig. 1) and leaves (Appendix 4) on the fertilized plots, and it is obvious that this element played an important role in the growth increase. The harvesting method also had an effect on the amount of biomass of the developing alder sprouts. The amount of stem and branch biomass was greater when the branches and stem parts with a diameter of less than 5 cm were not removed in stand harvesting than on the unfertilized, whole-tree harvested plots. At the end of the experiment the biomass of the above-ground parts of the reference stand was 57 t/ha, i.e. almost double that on the fertilized coppiced plots (Fig 5 and Appendix 2).

The majority of the roots were growing in the 0–10 cm-thick soil layer. However, some roots were growing at a depth of 30–40 cm (Table 8). The mean biomass of the alder roots in the 0–40 cm soil layer in the coppiced stand was rather large, 12 t/ha. Living roots of the stand cut during coppicing were still present on the site at the time of harvesting. The mean biomass of the roots of the reference stand was 10 t/ha, i.e. almost 20 % of the biomass of the above-ground parts of the stand.

The amount of nutrients consumed annually by the coppiced alder stand in producing one tonne of biomass was calculated on the basis of the amount of nutrients bound in the biomass by the fifth and eighth year (Appendix 6). The nutrients bound in the leaves and lost in leaf

fall during the sixth and seventh years were taken into account. The coppiced alder stand consumed the following amounts of nutrients in producing one tonne of biomass: N 13.9, P 1.2, K 6.0, Ca 4.2, Mg 0.8 kg and Mn 282, Fe 79, Cu 6, Zn 20 and B 17 g (Table 10). A portion of the nutrients bound in the stand are returned to the soil in litterfall. These nutrients are gradually released as the litter decompose and become available for uptake by the stand. On the average almost 50 % of the litter had decomposed in the coppiced stand within two years, and in the reference stand 30 % (Fig. 2). The reason for the slow rate of decomposition was that the alder litter also included some grass litter.

The following conclusions can be drawn on the basis of this study:

- The amount of sprout biomass obtained after whole-tree harvesting will notably decrease. Stem-wood harvesting should be used.
- The amount of sprout biomass can be increased through fertilization. Phosphorus obviously plays an important role in this growth increase.
- Because roots of the stand cut during coppicing remain alive for a number of years after harvesting, leaching will be smaller in a coppiced stand than that after clear-felling and whole-tree harvesting.
- The sprouting capacity of the alders was good still at an age of 20 years. Wood ash and phosphorus fertilization reduced the sprouting capacity, but improved sprout survival.

Liite 1. Puuntuhkan, superfosfaatin ja hiven PK:n koostumus (%).
Appendix 1. Nutrient concentrations (%) of the wood ash, superphosphate and PK with trace elements.

Ravinne Nutrient	Puuntuhka Wood ash	Superfosfaatti Superphosphate	Hiven PK PK with trace elements
N	—	—	2,0
P (kokonais total)	1,7	8,7	7,9
(vesiliukoinen water soluble)	—	8,1	4,4
K	3,8	—	14,9
Ca	27,5	20,5	12,9
Mg	2,8	0,2	0,1
Mn	1,7	—	—
Fe	—	0,3	0,1
Cu	0,04	—	1,5
Zn	0,10	—	—
B	0,04	—	0,2

Liite 2. Puuston kuiva-ainemäärä (kg/ha), viiden (1984) ja kahdeksan (1987) kasvukauden jälkeen. Käsittelyt, ks. kuva 1.

Appendix 2. Distribution of the dry matter of the tree crop in different compartments (kg/ha) after five (1984) and eight (1987) growing seasons. See Figure 1 for explanation of treatments 1-4.

	Puun osa Compartment	Käsittely Treatment	Vuosi — Year			
			1984		1987	
			\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x
Vesasyntyinen puusto <i>Coppiced stand</i>	Runko <i>Stem</i>	1	9740	3810	19200	5870
		2	4890	630	12230	1500
		3	13030	2170	23050	360
		4	13640	840	26500	1900
	Oksat <i>Branches</i>	1	2540	720	2990	910
		2	3010	90	2090	170
		3	5570	880	3700	330
		4	5790	700	4480	60
	Lehdet <i>Leaves</i>	1	1240	620	2210	730
		2	420	140	1350	200
		3	1810	360	2770	250
		4	1990	80	3270	10
	Kanto <i>Stump</i>	1			8660	3410
		2			5800	790
		3			9850	1030
		4			10930	450
Vertailupuusto <i>Reference stand</i>	Runkopuu <i>Stemwood</i>				41660	4590
	Kuori <i>Bark</i>				5730	120
	Oksat <i>Branches</i>				8750	1090
	Lehdet <i>Leaves</i>				880	120

Liite 3. Vesasyntyisen puuston koepuiden eri osien keskimääräiset ravinnepitoisuudet g/kg (N, P, K, Ca, Mg) ja mg/kg (Mn, Cu, Zn, Fe, B) kuiva-aineesta viiden kasvukauden jälkeen. Käsittelyt 1–4, ks. kuva 1.

Appendix 3. Average nutrient concentrations of different compartments of the sample trees in the coppiced stand expressed as g/kg (N, P, K, Ca, Mg) or as mg/kg (Mn, Cu, Zn, Fe, B) of dry weight after five growing seasons. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.

Ravinne Nutrient	K ¹⁾ T	Runko (R) — Stem		Oksat (O) — Branches		Lehdet (L) — Leaves		Merkittävät erot ²⁾ Significant differences
		\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	
N	1	7,8	0,3	12,3	0,3	33,8	0,6	
	2	7,8	0,2	12,4	0,4	34,1	0,8	
	3	7,9	0,2	12,5	0,4	36,1	1,6	
	4	7,9	0,2	12,4	0,3	36,8	0,6	
P	1	0,6	0,04	0,8	0,2	1,6	0,1	L 2–4*
	2	0,5	0,04	0,7	0,2	1,5	0,1	
	3	0,7	0,03	0,6	0,2	1,8	0,03	R 2–4*
	4	0,8	0,03	0,7	0,2	2,0	0,1	
K	1	2,1	0,1	3,9	0,4	13,2	1,3	
	2	2,2	0,1	3,4	0,3	11,2	1,5	
	3	2,2	0,1	3,8	0,1	12,8	1,0	
	4	2,2	0,04	3,8	0,1	11,7	0,3	
Ca	1	2,2	0,1	4,2	0,03	11,5	0,2	L 1–3*, 1–4*, 2–3*, 2–4*
	2	2,6	0,2	4,1	0,2	11,8	1,2	
	3	2,3	0,1	4,6	0,3	15,6	0,6	
	4	2,5	0,2	4,9	0,2	16,2	0,5	
Mg	1	0,4	0,01	0,7	0,03	1,7	0,1	L 1–4*, 2–4*
	2	0,4	0,03	0,7	0,1	1,7	0,2	
	3	0,4	0,02	0,9	0,1	2,0	0,1	
	4	0,3	0,07	0,8	0,1	2,5	0,1	
Mn	1	144	2,3	293	7	513	88	O 1–3**, 1–4***, 2–3**, 2–4** R1–3***, 1–4***, 2–3***, 2–4***
	2	143	0,2	258	6	436	6	
	3	88	0,3	179	2	483	115	
	4	89	1,8	194	18	397	26	
Cu	1	6,8	0,6	13,0	1,2	16,6	1,5	
	2	7,0	0,4	12,5	0,9	16,5	1,0	
	3	6,3	0,2	11,0	0,7	13,9	0,01	
	4	6,3	0,2	10,7	0,8	13,2	0,6	
Zn	1	30,4	3,5	73,2	1,8	66,2	4,2	O 1–3*, 1–4*, 2–3**, 2–4**
	2	32,6	2,0	78,3	2,0	72,5	4,0	
	3	27,3	1,9	57,3	5,0	75,1	12,6	
	4	28,3	0,3	57,8	1,5	70,4	3,0	
Fe	1	19,2	1,2	52,1	6,3	90,4	4,6	
	2	24,6	2,9	46,9	4,1	94,6	2,9	
	3	23,6	0,5	48,5	3,3	105,0	3,4	
	4	24,5	2,5	51,9	3,9	110,6	6,0	
B	1	6,2	0,3	10,9	0,3	11,7	1,4	L 1–3**, 1–4**, 2–3**, 2–4** O 1–3**, 2–3**
	2	6,5	0,2	11,2	0,3	10,6	1,4	
	3	8,2	0,1	14,0	0,4	28,6	2,8	R 1–3**, 1–4*, 2–3**
	4	7,4	0,1	12,4	0,3	30,4	4,6	

1) K = Käsittely
T = Treatment

2) Osoittaa eron tilastollisen merkitsevyyden ravinnepitoisuudessa käsittelyjen välillä.
Indicates statistical significance of difference in nutrient concentrations between treatments.

Liite 4. Vesasyntyisen puuston koepuiden eri osien keskimääräiset ravinnepitoisuudet g/kg (N, P, K, Ca, Mg) ja mg/kg (Mn, Cu, Zn, Fe, B) kuiva-aineesta kahdeksan kasvukauden jälkeen. Käsittelyt 1–4, ks. kuva 1.

Appendix 4. Average nutrient concentrations of different compartments of the sample trees in the coppiced stand expressed as g/kg (N, P, K, Ca, Mg) or as mg/kg (Mn, Cu, Zn, Fe, B) of dry weight after eight growing seasons. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.

Ravinne Nutrient	K ¹⁾ T	Runko(R) — Stem		Oksat(O) — Branches		Lehdet(L) — Leaves		Kanto(K) — Stump		Merkittävät erot ²⁾ Significant differences
		\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	
N	1	6,2	0,3	10,3	0,3	37,4	0,5	6,9	0,3	L 2–3*
	2	5,7	0,3	10,1	0,2	35,3	0,5	6,6	0,4	
	3	5,5	0,1	10,2	0,5	39,0	0,6	6,8	0,2	
	4	5,1	0,2	10,1	0,4	38,4	0,8	6,6	0,1	
P	1	0,5	0,04	0,8	0,02	2,2	0,1	0,5	0,1	L 1–2*, 1–3***, 1–4***, 2–3***, 2–4*** O 1–3**, 1–4**, 2–3**, 2–4** R 2–3* K 1–4***, 2–3*, 2–4***
	2	0,5	0,02	0,8	0,04	2,0	0,1	0,4	0,1	
	3	0,6	0,02	1,1	0,05	2,5	0,1	0,9	0,04	
	4	0,6	0,03	1,1	0,05	2,7	0,1	1,0	0,1	
K	1	2,1	0,1	3,5	0,1	14,4	0,5	2,4	0,2	
	2	2,1	0,1	3,4	0,3	13,4	0,7	2,2	0,3	
	3	1,9	0,1	3,8	0,04	14,2	0,6	2,2	0,1	
	4	1,9	0,1	3,6	0,1	14,8	0,6	2,7	0,1	
Ca	1	2,2	0,1	3,4	0,1	7,9	0,2	1,7	0,2	L 1–3***, 1–4***, 2–3***, 2–4***
	2	2,3	0,3	3,7	0,3	7,9	0,4	2,0	0,2	
	3	2,0	0,1	4,3	0,2	11,0	0,4	1,7	0,1	
	4	2,0	0,03	4,2	0,1	11,1	0,3	2,1	0,2	
Mg	1	0,4	0,02	0,7	0,05	1,9	0,1	0,4	0,02	L 2–3**, 2–4*** K 2–3*, 2–4**
	2	0,4	0,03	0,6	0,03	1,7	0,1	0,3	0,02	
	3	0,3	0,01	0,8	0,04	2,1	0,1	0,4	0,03	
	4	0,3	0,02	0,7	0,05	2,1	0,1	0,5	0,02	
Mn	1	176	21	344	39	537	28	76,4	12,6	L 1–2***, 2–4***, 3–4** O 1–3* R 1–3*
	2	173	12	318	9	405	18	81,9	12,6	
	3	93	9	223	20	452	20	67,6	10,2	
	4	115	4	291	7	570	28	67,7	6,0	
Cu	1	5,5	0,2	10,5	0,4	15,4	0,4	4,5	0,2	L 1–3*, 1–4***, 2–4*** O 1–4* R 1–4*
	2	5,3	0,7	9,7	0,9	14,9	0,3	4,2	0,3	
	3	4,2	0,3	8,5	0,2	13,9	0,4	4,4	0,1	
	4	3,4	0,3	7,4	0,5	12,7	0,4	4,7	0,5	
Zn	1	28,0	1,4	56,7	2,9	50,5	2,5	21,5	3,0	L 1–4*, 2–3*, 3–4** O 1–3***, 1–4**, 2–3**, 2–4***
	2	29,5	4,0	61,0	3,3	44,6	1,5	21,2	2,2	
	3	20,5	0,4	39,8	1,1	52,8	2,7	19,7	2,8	
	4	18,8	1,1	36,9	1,9	41,8	1,2	16,6	1,1	
Fe	1	17,9	1,2	38,8	3,3	130	48	42,8	8,1	L 1–2***, 1–3***
	2	20,5	4,2	49,2	6,0	281	180	43,6	5,4	
	3	14,8	0,7	46,1	8,9	269	238	44,0	2,7	
	4	15,7	1,5	45,8	2,0	208	153	44,3	10,0	
B	1	6,8	0,5	10,7	0,3	19,1	1,1	5,0	0,2	L 1–3***, 1–4***, 2–3***, 2–4***, 3–4*** O 1–3*, 1–4*, 2–3**, 2–4*
	2	6,3	0,6	10,3	0,6	17,2	1,0	4,8	0,3	
	3	6,9	0,3	13,0	0,2	44,5	1,6	6,4	0,3	
	4	6,8	0,4	12,6	0,3	64,8	2,8	6,8	0,7	

1) K = Käsittely
T = Treatment

2) Osoittaa eron tilastollisen merkitsevyyden ravinnepitoisuudessa käsittelyjen välillä.
Indicates statistical significance of difference in nutrient concentrations between treatments.

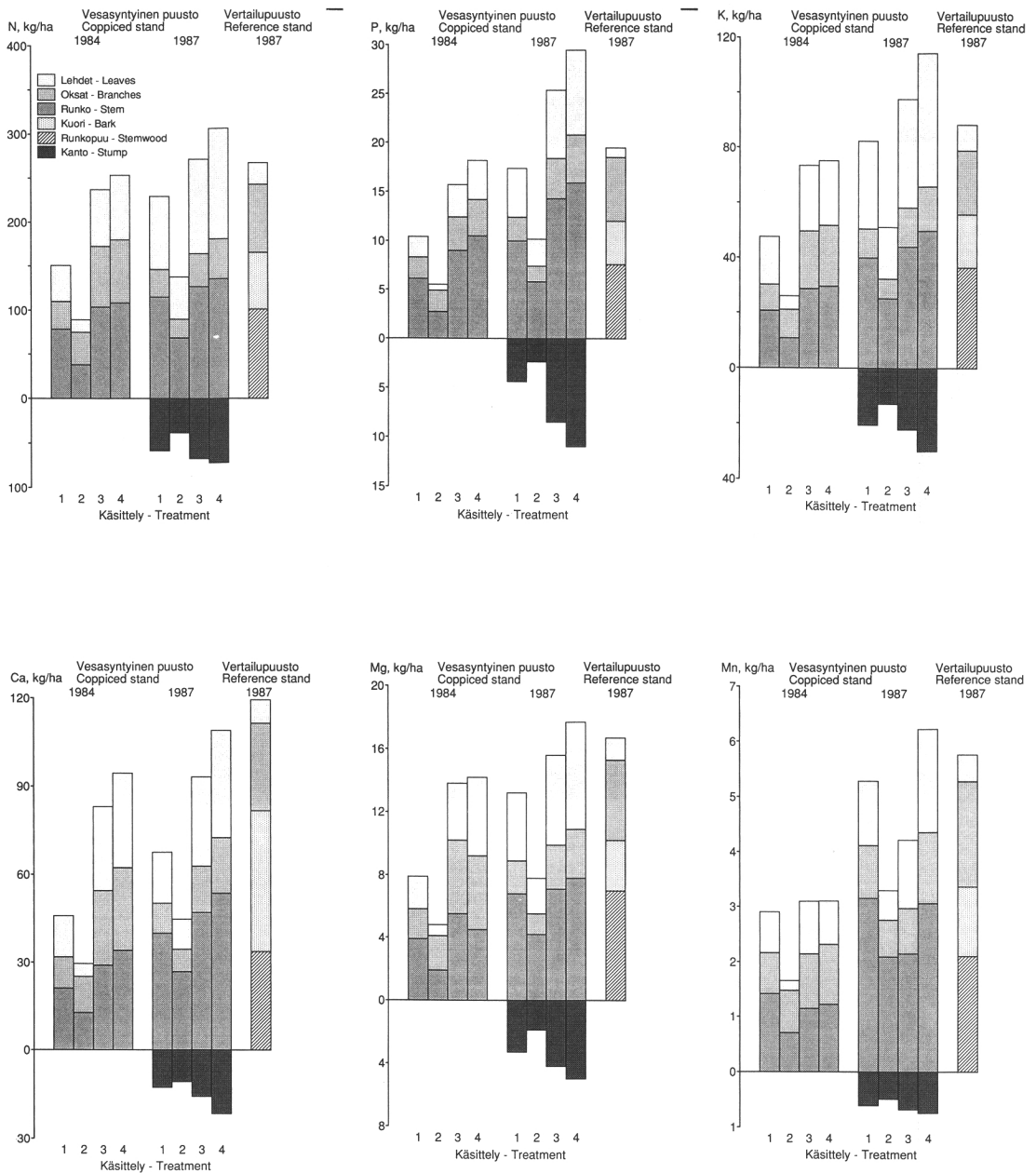
Liite 5. Vertailupuuston koepuiden eri osien keskimääräiset ravinnepitoisuudet g/kg (N, P, K, Ca, Mg) ja mg/kg (Mn, Cu, Zn, Fe, B) kuiva-aineesta kahdeksan kasvukauden jälkeen.

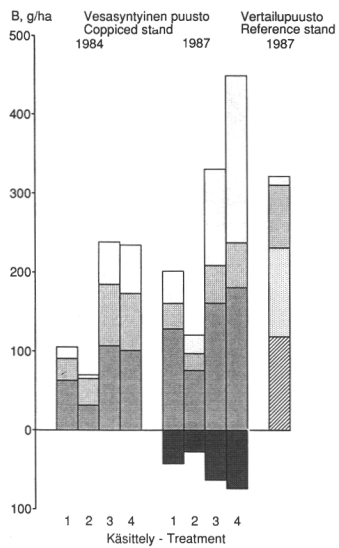
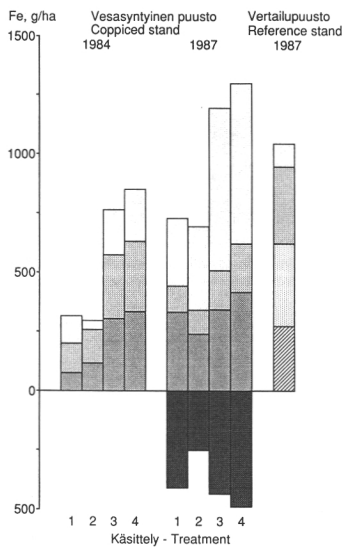
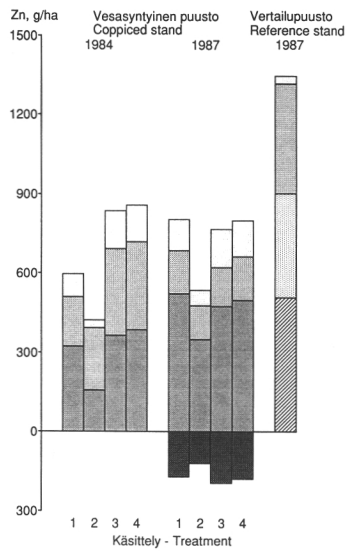
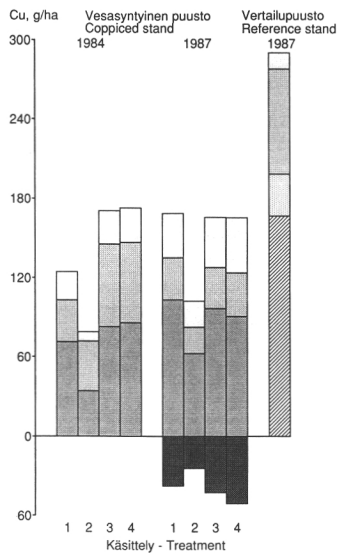
Appendix 5. Average nutrient concentrations of different compartments of the sample trees in the reference stand expressed as g/kg (N, P, K, Ca, Mg) or as mg/kg (Mn, Cu, Zn, Fe, B) of dry weight after eight growing seasons.

Ravinne Nutrient	Runkopuu Stemwood		Kuori Bark		Oksat Branches		Lehdet Leaves	
	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x	\bar{x}	s_x
N	2,4	0,03	11,1	0,2	9,4	0,9	28,0	0,3
P	0,2	0,01	0,8	0,1	0,8	0,1	1,1	0,02
K	0,9	0,02	3,4	0,2	2,6	0,1	10,5	0,4
Ca	0,8	0,05	8,2	1,3	3,4	0,1	9,1	0,2
Mg	0,2	0,02	0,6	0,03	0,6	0,04	1,6	0,04
Mn	49,7	3,3	216	13,8	216	26,3	542	15,8
Cu	3,9	0,5	5,5	0,3	8,9	0,6	13,6	0,4
Zn	12,1	0,3	68,8	1,8	47,7	1,7	34,1	0,7
Fe	7,0	0,1	59,8	8,2	37,5	3,2	107,2	7,0
B	2,8	0,2	19,3	0,7	9,1	0,2	12,9	0,6

Liite 6. Puuston biomassaan sitoutuneiden ravinteiden määrä viiden (1984) ja kahdeksan (1987) kasvukauden jälkeen. Kä-sittelyt 1–4, ks. kuva 1

Appendix 6. Amount of nutrients bound in the tree crop after five (1984) and eight (1987) growing seasons. See Figure 1 for explanation of treatments 1–4.





METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — Address: 39700 Parkano, Finland
Puh. — Phone: (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — Address: Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — Phone: (981) 533 1404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — Address: 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — Phone: (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — Address: 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — Phone: (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Field Station
Os. — Address: 12700 Loppi, Finland
Puh. — Phone: (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — Address: 95900 Kolari, Finland
Puh. — Phone: (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — Address: PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — Phone: (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — Address: PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — Phone: (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — Address: PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — Phone: (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Field Station
Os. — Address: 01590 Maisala, Finland
Puh. — Phone: (90) 824 420



- No 760 Aarne, Martti, Uusitalo, Matti & Herrala-Ylinen, Helena (toim.):
Metsätilastollinen vuosikirja 1989.
Yearbook of forest statistics, 1989.
- No 761 Poikolainen, Jarmo: Hailuodon jäkäläkankaiden taimikot ja niiden hirvi-
tuhot.
Condition of sapling stands on the lichen heaths of Hailuoto and damage by
moose.
- No 762 Saarenmaa, Liisa: Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla
Lapissa.
Choice of reforestation method based on an expert system in Finnish
Lapland.
- No 763 Hotanen, Juha-Pekka & Nousiainen, Hannu: Metsä- ja suokasvillisuuden
numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyyppien rinnastettavuus.
The parity between the numerical units and site types of forest and mire
vegetation.
- No 764 Hirvelä, Hannu & Hynynen, Jari: Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun,
latvavaurioihin ja tuulituhoalttiuteen Lapissa.
Effect of fertilization on the growth, top damage and susceptibility to wind-
throw of Scots pine stands in Lapland.
- No 765 Uotila, Esa & Peltola, Aarre: Hankinta- ja pystykaupan tulojen katelas-
kentamenetelmä.
A method for calculating residual incomes from delivery and standing sales
of timber.
- No 766 Selander, Jukka, Immonen, Auli & Raukko, Pekka: Luontaisen ja istutetun
männynntaimen kestävyys tukkimiehentäitä vastaan.
Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seed-
lings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera,
Curculionidae).
- No 767 Nurmi, Juha: Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa.
Longterm storage of fuel chips in large piles.

1991

- No 768 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Harmaalepän
vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö.
Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus*
incana.